

S₄₆₂

CO₂-Bilanzierung und Konzeptentwicklung zur CO₂-Reduktion eines Dezernats der TU Darmstadt

**Evaluation of carbon footprint and concept development for GHG reduction for a
department of the TU Darmstadt
Advanced Research Project**

Odile Di Fant, Florian Koch, Marcel Müller, Shkëlqim Syla, Nora Vivian Yazdandoost Khosravi
(Betreuende Clara Brossmann, Jakob Hartig, Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz)

Forschungsbericht Fluidsystemtechnik, Darmstadt, 31.01.2021



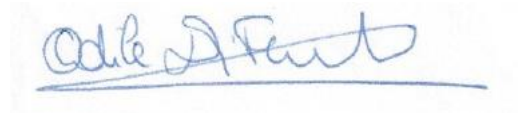
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Erklärungen

Hiermit versichere ich, die vorliegende Studienarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, 31.01.2021

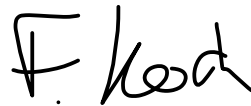
(Ort, Datum)



(Unterschrift)

Darmstadt, 31.01.2021

(Ort, Datum)



(Unterschrift)

Darmstadt, 31.01.2021

(Ort, Datum)



(Unterschrift)

Darmstadt, 31.01.2021

(Ort, Datum)



(Unterschrift)

Darmstadt, 31.01.2021

(Ort, Datum)



(Unterschrift)

This work is available under CC-BY-NC-ND 4.0 International - Creative Commons, Non-commerical, No-derivative

CO2-Bilanzierung und Konzeptentwicklung zur CO2-Reduktion eines Dezernats der TU Darmstadt

Evaluation of carbon footprint and concept development for GHG reduction for a department of the TU Darmstadt

Advanced Research Project von Odile Difant, Florian Koch, Marcel Müller, Shkëlqim Sylja, Nora Vivian Yazdandoost Khosravi

Betreut von Jakob Hartig und Clara Brossmann (Büro für Nachhaltigkeit, Dezernat V)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Die TU möchte Ihre Treibhausgasemissionen senken. Als Grundlage soll eine CO2-Bilanz dienen. In Zusammenarbeit mit dem Büro für Nachhaltigkeit der TU Darmstadt soll daher im Rahmen dieses ARPs eine CO2-Bilanz für das Dezernat V der TU Darmstadt aufgestellt und anhand dieser ein Konzept zur CO2-Reduktion abgeleitet werden. Nach Festlegung von Bilanzierungszeitraum und Bilanzierungsrahmen muss eine Inventur sowie Gespräche mit der Verwaltungseinheit durchgeführt werden. Für die ermittelten Emissionen müssen relevante Emissionsfaktoren gefunden werden. Abschließend werden Maßnahmen zur CO2 Reduktion abgeleitet und mit der betreffenden Einheit diskutiert.

Inhalt der Arbeit:

1. Einarbeitung
2. Bestimmung des Bilanzierungszeitraums
3. Recherche der relevanten Emissionsfaktoren
4. Inventur und Datenerhebung von direkten und indirekten Emissionen z.B. durch Gespräche, Umfragen und Ortsbegehungen
5. Ableiten von Maßnahmen zur CO2-Reduktion
6. Diskussion der vorgeschlagenen Maßnahmen mit der betreffenden Verwaltungseinheit

11.2.23 P. Pelz

Datum, Prof. Dr.-Ing. P. F. Pelz

Abstract

This paper deals with the CO₂ emissions of a department of the TU Darmstadt in 2019, using the Greenhouse Gas Protocol. Various emission factors, such as the consumption of electricity and heat, the commute of employees, business trips and the consumption of paper and IT equipment, are included in the balance. In order to identify the emission factors precisely, surveys on working methods and mobility within Department V are sent to all employees and carried out. Through mail contact with the responsible employees of Department V and several on-site visits, additional emission factors could be determined. Missing information is finally estimated as accurately as possible. A correlation matrix was used to identify correlations from the survey results. In addition, key performance indicators could be determined through corresponding analyses. These can be used as a basis for the efficient preparation of future CO₂ balances.

In 2019, the entire department emitted an average of 195,751 kg CO₂ eq. Employee commuting represents the proportionally largest emission output at 77,187 kg CO₂ eq. In second and third place are emissions from district heating with 46,314 kg CO₂ eq and electricity with 39,513 kg CO₂ eq.

The second aspect of this paper deals with potential measures to reduce CO₂ emissions at Department V. In a second survey, the employees of Department V can evaluate the measures presented in terms of their feasibility in their day-to-day work at the department.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den CO₂-Emissionen eines Dezernats der TU Darmstadt im Jahr 2019. Hierzu wird das Greenhouse Gas Protocol verwendet. In die Bilanzierung fließen verschiedene Emissionsfaktoren, wie beispielsweise der Verbrauch von Strom und Wärme, der Pendelweg der Mitarbeitende sowie Dienstreisen und Verbrauch von Papier und IT-Geräten ein. Um die Emissionsfaktoren präzise zu identifizieren werden Umfragen zu der Arbeitsweise und der Mobilität innerhalb des Dezernats V an alle Mitarbeitende versendet und durchgeführt. Durch Mailkontakt mit den zuständigen Mitarbeitenden des Dezernats V und einigen Vor-Ort-Begehungen können weitere Emissionsfaktoren ermittelt werden. Fehlende Informationen werden abschließend so genau wie möglich abgeschätzt. Mit Hilfe einer Korrelationsmatrix werden aus den Umfrageergebnissen Abhängigkeiten identifiziert. Durch entsprechende Analysen können zudem Key Performance Indicator bestimmt werden. Diese können als Grundlage für die effiziente Erstellung zukünftiger CO₂-Bilanzen genutzt werden.

Im Jahr 2019 hat das gesamte Dezernat im Durchschnitt 195,751 kg CO₂ eq ausgestoßen. Das Pendeln der Mitarbeitenden stellt mit 77,187 kg CO₂ eq den anteilmäßig größten Emissionsausstoß dar. An zweiter und dritter Stelle stehen die Emissionen aus Fernwärme mit 46,314 kg CO₂ eq und Strom mit 39,513 kg CO₂ eq.

Der zweite Aspekt dieser Arbeit beschäftigt sich mit potenziellen Maßnahmen, um die CO₂-Emissionen am Dezernat V zu senken. Die Mitarbeitenden des Dezernats V können in einer zweiten Umfrage die vorgestellten Maßnahmen bezüglich ihrer Umsetzbarkeit im Arbeitsalltag am Dezernat bewerten.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	3
ZUSAMMENFASSUNG	4
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	4
TABELLENVERZEICHNIS.....	6
SYMBOLVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
1.1 Motivation.....	9
1.2 Ziele der Arbeit	10
1.3 Politischer Hintergrund	11
1.3.1 Welt-Klimakonferenz.....	11
1.3.2 Pariser Abkommen und resultierende Beschlüsse.....	11
2 GRUNDLAGEN.....	13
2.1 Bilanzierungsobjekt Dezernat V	13
2.2 Standards zur Bilanzierung	15
2.2.1 PAS 2050.....	15
2.2.2 GHG Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard.....	15
2.2.3 ISO-Norm 14067 und ISO-Norm 14064–1.....	16
2.2.4 Auswahl des Standards zur Bilanzierung.....	16
2.3 CO ₂ -Rechner	19
2.4 Emissionsfaktoren.....	20
3 BILANZIERUNG DES DEZERNATS V	23
3.1 Systemgrenze	23
3.2 Datenerhebung.....	24
3.2.1 Methodisches Vorgehen	24
3.2.2 Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V	25
3.3 Auswertung und Analyse der Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V	26

3.3.1	Ergebnisse der Umfrage	26
3.3.2	Methodik der Korrelationsanalyse	31
3.3.3	Relevante Korrelationspartner	32
3.3.4	Interpretation der Ergebnisse aus Umfrage und Korrelationsanalyse.....	35
3.4	Emissionen durch Gebäudeversorgung	37
3.4.1	Bestimmung der Emissionsfaktoren von Strom und Wärme	37
3.4.2	Dezernatsseitige Verbräuche	40
3.5	Weitere Emittenten am Dezernat V	40
3.5.1	Pendelweg der Mitarbeitenden des Dezernats V	41
3.5.2	Wege der Mitarbeitenden des Dezernats V während der Arbeitszeit.....	42
3.5.3	Dienstreisen der Mitarbeitenden des Dezernats V	43
3.5.4	Papierverbrauch der Mitarbeitenden des Dezernats V	44
3.5.5	Einkauf von IT-Geräten des Dezernats V	45
3.6	Gesamtbilanz der CO₂-Emissionen am Dezernat V	47
4	EINSPARUNGSPOTENTIALE.....	50
4.1	Umfrage Potenzielle Maßnahmen zur CO₂-Reduktion	50
4.1.1	Ergebnisse der Umfrage Potenziellen Maßnahmen zur CO ₂ -Reduktion.....	50
4.1.2	Interpretation der Ergebnisse	56
4.2	Einsparungspotentiale durch die Gebäudeversorgung.....	56
4.3	Einsparungspotentiale Strom	57
4.4	Wärmeverluste über die Fenster	60
4.5	Einsparungspotentiale durch Veränderungen der Arbeitsweise am Dezernat V.....	63
5	ANALYSE DER HAUPTEMISSIONSFAKTOREN	69
5.1	Methodik der Pareto Verteilung	69
5.2	Ermittlung der Hauptemissionsfaktoren	70
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	74
7	LITERATUR	72
7.1	Persönliche Mitteilungen	76
ANHANG		81
A	Berechnungen	81

A.1	Emissionsberechnung Strom.....	81
A.2	Emissionsberechnung Wärme	82
B	Verbrauchsdaten Wärme.....	83
C	Korrelationsmatrix	84
D	Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V	87
E	Umfrage Potenzielle Maßnahmen zur CO₂-Reduktion.....	90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Organigramm des Dezernats V	14
Abbildung 2 - Einteilung der Emissionsfaktoren	18
Abbildung 3 - Systemgrenze des Dezernats V	23
Abbildung 4 - Pendelweg der Mitarbeitenden des Dezernats V	27
Abbildung 5 - Dienstweg der Mitarbeitenden des Dezernats V	27
Abbildung 6 - Dienstreisen der Mitarbeitenden des Dezernats V	28
Abbildung 7 - Verhalten bei kurzen Pausen der Mitarbeitenden des Dezernats V	29
Abbildung 8 - Verhalten nach Dienstschluss der Mitarbeitenden des Dezernats V	29
Abbildung 9 - Interesse an einer CO ₂ -Bilanz des Dezernats V	30
Abbildung 10 - Bereitschaft zur Änderung des Arbeitsalltags	30
Abbildung 11 - Bereitschaft zur Änderung des persönlichen Alltags	31
Abbildung 12 - Korrelation Interesse an CO ₂ -Einsparung zu Alltag ändern	33
Abbildung 13 - Korrelation Strecke Dienstfahrzeug zu Interesse CO ₂ -Einsparung	34
Abbildung 14 - Korrelation Interesse CO ₂ -Einsparung zu Altersgruppe	35
Abbildung 15 - Fernwärmenetz Darmstadt	38
Abbildung 16 - Emittenten des Dezernats V im Jahr 2019	48
Abbildung 17 - Gesamtbilanz des Dezernats V nach Scopes im Jahr 2019	49
Abbildung 18 - Gesamtbilanz des Dezernats V nach Kategorien des CO ₂ -Rechners im Jahr 2019	49
Abbildung 19 - Interesse an Jobrädern	51
Abbildung 20 - Bewertung des Konzepts papierloses Arbeiten	52
Abbildung 21 - Voraussetzungen zum papierlosen Arbeiten	52
Abbildung 22 - Interesse am mobilen Arbeiten	53
Abbildung 23 - Interesse an Wasser-Filtersystemen	54
Abbildung 24 - Bewertung täglicher Erinnerungen	54
Abbildung 25 - Interesse an direkten Ansprechpersonen	55
Abbildung 26 - Interesse an einer jährlichen CO ₂ -Bilanz	55
Abbildung 27 - Entwicklung der spezifischen CO ₂ -Emissionsfaktoren für den Campus Lichtwiese von 1990 bis 2050	57
Abbildung 28 - Effizienz von Solarpanels abhängig von deren Ausrichtung	59
Abbildung 29 - Wärmeverlust über die Fenster	61
Abbildung 30 - Mindmap mit Verbesserungspotentialen von Teilnehmenden der Umfragen Teil 1	64
Abbildung 31 - Mindmap mit Verbesserungspotentialen von Teilnehmenden der Umfragen Teil 2	64
Abbildung 32 - Pareto Prinzip	69
Abbildung 33 - CO ₂ -Bilanz des FST	70
Abbildung 34 - CO ₂ -Bilanz der BOKU Wien	71

Abbildung 35 - CO ₂ -Bilanz der Alpen-Adria-Universität	72
Abbildung 36 - CO ₂ -Bilanz des Dezernats V	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Energieeffizienz-/Klimaschutzziele Deutschlands im EU-Kontext	12
Tabelle 2 - Vergleich der unterschiedlichen Bilanzierungsstandards	16
Tabelle 3 - Gase in Relation zur Klimawirksamkeit auf 100 Jahre im Vergleich zu CO2.....	21
Tabelle 4 - Korrelation Interesse an CO2-Einsparung zu Alltag ändern	32
Tabelle 5 - Korrelation Strecke Dienstfahrzeug.....	33
Tabelle 6 - Korrelation Altersgruppe	34
Tabelle 7 - Korrelation Dienstreise	36
Tabelle 8 - Anschlussstruktur der Gebäude des Dezernats V.....	40
Tabelle 9 - Hochrechnung des Pendelwegs.....	42
Tabelle 10 - Pendelstrecken für das Jahr 2019.....	42
Tabelle 11 - Hochrechnung der Dienststrecken	43
Tabelle 12 - Gesamte Dienststrecken im Jahr 2019	43
Tabelle 13 - Schätzung der Strecke der Dienstreisen	44
Tabelle 14 - Gesamtstrecke der Dienstreisen im Jahr 2019	44
Tabelle 15 - Hochrechnung des Papierverbrauchs.....	45
Tabelle 16 - Gesamtverbrauch des Papiers im Jahr 2019	45
Tabelle 17 - Schätzung der Lebensdauer von IT-Geräte.....	46
Tabelle 18 - Gesamteinkauf von IT-Geräten im Jahr 2019	47
Tabelle 19 - Prozentual mögliche Deckung des Strombedarfs durch Solarpanels.....	58
Tabelle 20 - Verglasungstypen	61

Symbolverzeichnis

Basissystem

Die erste Spalte der folgenden Liste zeigt die im Text verwendeten Symbole für die auftretenden physikalischen und mathematischen Größen. In der zweiten Spalte wird die Bedeutung des Symbols beschrieben. Die Dimensionsformel jeder physikalischen Größe ist als Potenzprodukt der Basisgrößen Länge (L), Masse (M), Zeit (T), Temperatur (Θ), Stoffmenge (N), Strom (I) und Lichtstärke (J) in der Spalte 3 angegeben.

Symbol	Bedeutung	Dimension
a	Jahr	T
d	Tag	T
°C	Celsius	Θ
CO ₂ eq	CO ₂ -Äquivalent	1
h	Stunde	T
K	Kelvin	Θ
kg	Kilogramm	M
km	Kilometer	L
kWh	Kilowattstunde	M L ² T ⁻²
Pkm	Personenkilometer	L
W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient	M Θ^{-1} T ⁻³

Abkürzungen

ARP	Advanced Research Project
BHKW	Blockheizkraftwerk
BOKU Wien	Universität für Bodenkultur Wien
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Conference of the Parties
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EMS	Energiemanagementsystem
EU	Europäische Union
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FST	Fluidsystemtechnik
GHG	Greenhouse gas
GWP	Global Warming Potencial
IEP	Interdisziplinäres Energieprojekt

ICPP	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
MHKW	Müllheizkraftwerk
N ₂ O	Distickstoffoxid
NF ₃	Stickstofftrifluorid
PAS	Public Available Specification
PFC	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
SF ₆	Schwefelhexafluorid
TU	Technische Universität
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Program
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WCP	World Climate Program
WCRP	World Climate Research Program
WRI	World Resources Institute

1 Einleitung

Im Folgenden wird die Relevanz der Thematik zur CO₂-Reduktion aufgeführt, im Zusammenhang mit der TU Darmstadt gestellt und in einen politischen Hintergrund eingeordnet.

1.1 Motivation

Seit Beginn der industriellen Revolution beeinflusst der Mensch die globale Durchschnittstemperatur. Die Auswirkungen sind heute schon zu spüren. Durch die Erderwärmung ändert sich das globale Klima. Die Temperaturänderungen führen zu extremeren Wetterverhältnissen. Die Regionen, welche bereits stark vom Klimawandel betroffen sind, sind zum Großteil Inselstaaten und Entwicklungsländer. Dadurch, dass vor allem finanziell schwächere gestellte Länder die Folgen erleiden, verstärkt das die globale Armut zunehmend [1]. Neben diesen gesellschaftlichen Aspekten führen die Änderungen der Temperatur auch zu Änderungen in der Umwelt. Die genauen Auswirkungen sind nicht greifbar, jedoch besteht die Möglichkeit, dass die Erderwärmung immer weiter vorangetrieben wird. Ab einem bestimmten Punkt hat der Mensch keine Möglichkeit diese aufzuhalten. Beispielhaft dafür ist eine Studie der Universität Bristol, welche beschreibt, dass das Eis, welches in Grönland schmilzt, Methan freisetzt. Dieses gelangt in die Atmosphäre und beschleunigt den Treibhauseffekt [2]. Neben der Zerstörung der Umwelt und der Irreversibilität dieser Schäden an der Umwelt, beeinflusst dies natürlich auch die Artenvielfalt. Die evolutionäre Anpassung der Tiere und Pflanzen kann mit den sich verhältnismäßig schnell verändernden Bedingungen nicht mithalten [3]. Als direkte Konsequenz sterben zunehmend mehr verschiedene Tier- und Pflanzenarten aus. Zu erkennen ist dies auch an der stetig wachsenden roten Liste, welche gefährdete Arten auflistet [4]. Bereits im Jahr 1979 tagte erstmalig die Welt-Klimakonferenz [5]. Erst 36 Jahre später, im Jahr 2015, wurde bei der UN-Klimakonferenz in Paris eine Grenze für die Temperaturerhöhung beschlossen. Das Ziel dieser Vereinbarung ist, dass „der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau gehalten wird und Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1.5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen“ [6]. Mit zunehmender globaler Erderwärmung steigen die Risiken von irreversiblen Schäden an der Umwelt. Auch können möglicherweise weitere selbstverstärkende Effekte ausgelöst werden, welche noch nicht erforscht oder bekannt sind.

Für das Erreichen dieses Ziels gibt es keinen vordefinierten Weg oder einheitliche Maßnahmen. Jede Nation zu selbstständigem Handeln und Planen verpflichtet. Alle fünf Jahre sollen die Staaten ihre Ergebnisse vorlegen, um somit Transparenz zu schaffen [7].

Die genauen Folgen für den Fall, dass die angestrebten Ziele nicht erreicht werden, sind noch nicht gänzlich abzuschätzen. Es ist jedoch unstrittig, dass mit steigender Temperatur die globalen Folgen für Mensch und Natur immer drastischer werden, sodass eine Umkehr dieses Trends zunehmend schwieriger wird. Deshalb liegt es nicht nur in der Verantwortung der Staaten, den Umweltschutz über die wirtschaftlichen Interessen zu stellen, sondern auch in der Verantwortung jedes Einzelnen einen Beitrag zu leisten. Die TU Darmstadt hat bereits Schritte in Richtung einer nachhaltigen Politik unternommen. Im Jahr 2019 wurde bereits eine Studienarbeit, welche sich mit der Thematik eines CO₂-neutralen Instituts beschäftigt, verfasst sowie das Büro für Nachhaltigkeit neu strukturiert [8].

1.2 Ziele der Arbeit

Diese Arbeit zielt darauf ab ein Dezernat der TU Darmstadt zu bilanzieren und dabei Emissionen in einem weiten Umfang zu berücksichtigen.

Betrachtet wird das Dezernat V - Baumanagement und Technischer Betrieb. Erfasst werden dabei CO₂-Emissionen, welche unmittelbar durch den Betrieb entstehen, wie z.B. durch Dienstfahrzeuge oder indirekt verursachte Emissionen, u.a. durch Einkäufe von Büromaterialien.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf einer transparenten Arbeitsweise. Es soll durchgängig ersichtlich sein, wie bei der Ermittlung von Emissionen vorgegangen wird und welche Methodik dafür angewandt wird. Dies hat mehrere Gründe, welche nachfolgend erläutert werden.

Die Kooperation der Mitarbeitenden ist zuerst zu nennen. Als Gruppe von Studierenden, welche nicht selbst im Dezernat V tätig sind, muss ein Einblick in das Dezernat geschaffen werden. Dies bezieht sich nicht nur auf die Infrastruktur und die Ermittlung von Daten, sondern auch auf Einblicke in die Arbeitsweise. Dies erfolgt aufgrund der andauernden Corona-Pandemie und dem verhältnismäßig kurzen Bearbeitungszeitraum der Arbeit von drei Monaten fast ausschließlich über die Informationen von Mitarbeitenden. Da das Erfragen dieser Informationen einen zusätzlichen Arbeitsaufwand für die Mitarbeitenden darstellt, ist deren Bereitschaft zur Mithilfe eine grundlegende Voraussetzung. Durch eine strukturierte Kommunikationsstrategie wird diese Bereitschaft gefördert.

Zweitens sollen nach der eigentlichen Bilanzierung des Dezernats V auch Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung empfohlen werden. Da diese Maßnahmen zum Teil von den Mitarbeitenden selbst umgesetzt werden sollen und sich dadurch auf Ihren Arbeitsalltag auswirken, muss in deren Reihen Akzeptanz für die Maßnahmen vorhanden sein. Durch das Einfließen von Vorschlägen der Mitarbeitenden sowie ein durch transparentes Arbeiten erzeugtes Verständnis für Verbesserungsvorschläge, wird deren Akzeptanz gesteigert.

Als dritter Punkt ist das Selbstverständnis des wissenschaftlichen Arbeitens zu nennen. Wissenschaftliche Daten sollen dem FAIR-Prinzip entsprechen. Dieses besagt, dass Forschungsinformationen auffindbar (findable), zugänglich (accessible), kompatibel (interoperable) und wiederverwendbar (re-usable) sein sollen. [9]

Unter Beachtung der oben genannten Gesichtspunkte zeigt diese Arbeit auf, wie eine CO₂-Bilanzierung in der Praxis stattfindet, stößt Maßnahmen zur CO₂-Einsparung an und trägt dadurch einen Teil zu einem klimabewussten Handeln bei.

Diese Arbeit befasst sich mit der detaillierten Bilanzierung des Dezernats V der TU Darmstadt. Dabei stellt sich weiterführend die Frage, inwiefern diese Arbeit als Grundlage für die Bilanzierung der gesamten Universität genutzt werden kann. Dafür werden die einflussreichsten Emittenten des Dezernats V bestimmt und im Rahmen der CO₂-Gesamtbilanz als Key Performance Indicator (KPI) identifiziert. Zudem wird kritisch hinterfragt, inwiefern der genutzte Bilanzierungsansatz und die relevanten Emissionsfaktoren für die Ermittlung einer CO₂-Gesamtbilanz der TU Darmstadt geeignet sind.

1.3 Politischer Hintergrund

Seit dem Beginn der industriellen Revolution ist der Ausstoß von Treibhausgasen stetig gestiegen [10]. Die Treibhausgase umfassen u.a. Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs), Stickstofftrifluoride (NF₃) und Schwefelhexafluorid (SF₆) [11]. Diese Treibhausgase haben Einfluss auf die globale Temperatur und somit auch auf die Gestaltung der Zukunft [12]. Um die Folgen abschätzen zu können und Handlungsstrategien zu entwickeln, bedarf es globaler Zusammenarbeit. Im Folgenden werden einige Beschlüsse der Vergangenheit, aber auch aktuelle Übereinkommen näher erläutert.

1.3.1 Welt-Klimakonferenz

Die erste Welt-Klimakonferenz tagte 1979 [13]. Bei dieser wurden vier Programme bzw. Institutionen gegründet:

- World Climate Program (WCP)
- World Climate Research Program (WCRP)
- United Nations Environment Program (UNEP)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Diese haben es sich zur Aufgabe gemacht den Klimawandel aus wissenschaftlicher Sicht zu bewerten und die daraus resultierenden Folgen abzuschätzen.

Im Jahr 1990 wurde die zweite Welt-Klimakonferenz abgehalten. Dabei sollte insbesondere das WCP aus der ersten Welt-Klimakonferenz, auf Grundlage eines ersten Sachstandberichts des IPCC, überprüft werden. Die zweite Konferenz führte zur Gründung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wobei dieses das Kyoto-Protokoll beinhaltet. 2009 tagte die dritte Welt-Klimakonferenz, um eine Verbesserung beim Sammeln von klimarelevanten Informationen zu beschließen. Zudem wurden genau bezifferte Reduktionsziele für Industrieländer festgelegt. [14]

Diese Reduktionsziele sind freiwillig. Dies bedeutet, dass keine Sanktionen eintreten, sollten sie verfehlt werden. Die Staaten sind eigenverantwortlich und müssen keiner übergeordneten Organisation über ihre Strategie oder ihren Erfolg Rechenschaft ablegen. [15]

1.3.2 Pariser Abkommen und resultierende Beschlüsse

Das Pariser Abkommen ist die erste umfassende und rechtsverbindliche weltweite Klimaschutzvereinbarung und wurde im Dezember 2015 auf der Pariser Klimakonferenz beschlossen. Das Übereinkommen beinhaltet das Ziel, die globale Erderwärmung deutlich unter 2 °C zu halten und möglichst auf 1.5 °C zu beschränken. Das Abkommen wurde von 190 Länder unterzeichnet und ist seit dem 04.11.2016 in Kraft. [7]

Seit dem 04.11.2020 sind die USA offiziell kein Mitglied mehr des Pariser Abkommens. Die Entscheidung dafür wurde schon früher gefällt, jedoch ist ein Austritt erst zwei Jahre nach dem Inkrafttreten des Abkommens und einem weiteren Jahr nach der Bekundung eines Austrittes bis zum rechtskräftigen Austritt möglich. Dieser Austritt führt zu keinen Sanktionen für das Land. Trotz dieser Entscheidung sind bisher keine weiteren Abkommenspartner ausgetreten. [16]

Die EU nahm bei der Aushandlung des Übereinkommens eine tragende Rolle ein und hat auch weiterhin eine globale Führungsrolle inne. Auf europäischer Ebene wurde von der EU-Kommission

im Dezember 2020 beschlossen, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 zu reduzieren [17]. Bis zum Jahr 2050 soll Europa klimaneutral werden [18].

Auf nationaler Ebene hat Deutschland als Reaktion auf das Pariser Klimaabkommen im November 2016 den Klimaschutzplan 2050 verabschiedet. Dieser beschreibt die Reduktionen der Treibhausgasemissionen bis 2050 gegenüber dem Jahr 1990. [19]

Tabelle 1 stellt in übersichtlicher Form die Ziele der Treibhausgasreduktion, des Ausbaus an erneuerbaren Energien sowie der Reduktion des Primärenergieverbrauchs dar.

	EU	Deutschland
Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990	20 % bis 2020 55 % bis 2030 80-95 % bis 2050	40 % bis 2020 55 % bis 2030 80-95 % bis 2050
Zielwert für den Anteil erneuerbarer Energien am Strom	20 % bis 2020 27 % bis 2030	35 % bis 2020 40-45 % bis 2025 55-60 % bis 2035 80 % bis 2050
Reduktion des Primärenergieverbrauchs	20 % bis 2020 gegenüber Referenzszenarien	20 % bis 2020 gegenüber 2008 50 % bis 2050

Tabelle 1 - Energieeffizienz-/Klimaschutzziele Deutschlands im EU-Kontext [20]

Darüber hinaus sind in dem Klimaschutzplan der Bundesregierung Sektorziele definiert, welche die angestrebte Treibhausgasreduktion in den Bereichen Energiewirtschaft, Industrie, Gebäude, Verkehr und Landwirtschaft aufzeigen. Um diese Ziele auf lokaler Ebene zu erreichen, bedarf es einer Analyse der vorhandenen Gegebenheiten. An dieser Stelle setzt diese Arbeit an. Das Dezernat V mit seinen Emissionen tangiert dabei unmittelbar die Bereiche Gebäude und Verkehr. Im Gegensatz zu den Klimazielen bis 2020, sind die Klimaziele bis 2030 für Deutschland verpflichtend. Werden diese nicht eingehalten, so drohen Strafzahlungen [19]. Somit geht neben dem Interesse des Klimaschutzes auch ein monetärer Aspekt mit ein. Unter diesem politischen Hintergrund versucht diese Arbeit in kleinem Maßstab Ihren Anteil am Erreichen der Klimaschutzziele beizutragen und soll als Orientierung weiterer Untersuchungen dienen.

2 Grundlagen

Im Grundlagenkapitel werden die wesentlichen Werkzeuge und Rechner dieser Arbeit erläutert und der Auswahlprozess zur Bilanzierungsnorm und des CO₂-Rechners geschildert. Zudem werden die wesentlichen Informationen zum Dezernat V vorgestellt.

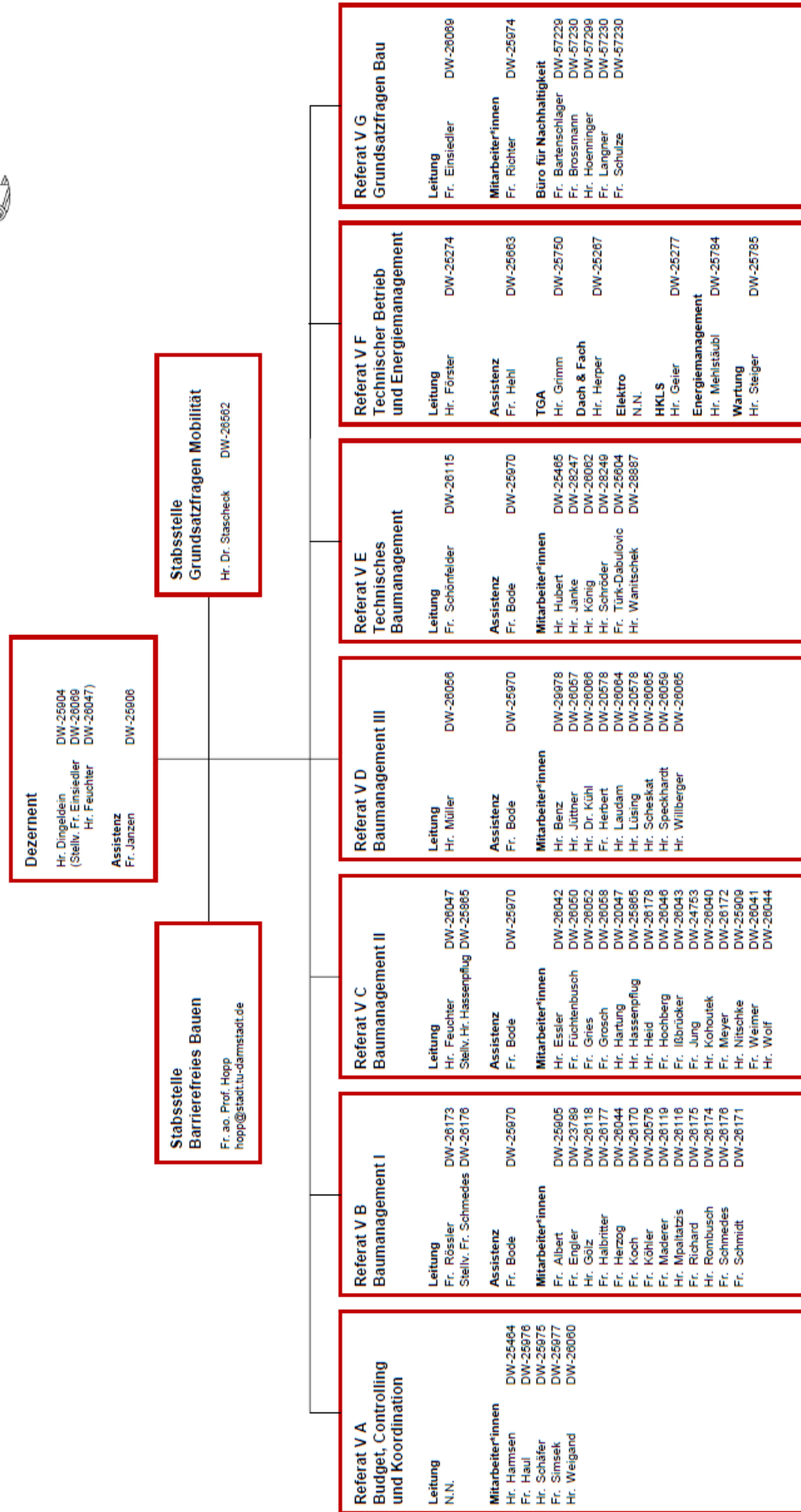
2.1 Bilanzierungsobjekt Dezernat V

Das Dezernat V der TU Darmstadt ist für das Baumanagement und den technischen Betrieb zuständig. Dazu gehören Neubau- und Umbauprojekte sowie Sanierungsarbeiten. Die Bauaufgaben werden dabei seit dem 01.01.2005 von der TU Darmstadt eigenständig verwaltet. [21]

Derzeit sind ca. 110 Mitarbeitende am Dezernat V beschäftigt [22]. Die Angestellten sind auf drei verschiedene Gebäude aufgeteilt. Dabei gibt es das Verwaltungsgebäude S3/20 und die Werkstatt S3/07 am Campus Stadtmitte. Zudem gibt es seit 2019 das Büro für Nachhaltigkeit am Campus Lichtwiese L3/02 [8].

Die Kernaufgaben bestehen dabei in der Abwicklung von Bauvorhaben sowie in der Konzeptionierung von zukunftsfähigen Projekten. Die Mitarbeitenden der Werkstatt sorgen des Weiteren für eine reibungslose Funktionalität der Immobilien. Viele Projekte sind zudem aktuell auf das Thema Nachhaltigkeit ausgerichtet. So wird stetig daran gearbeitet den Weg zum und vom Arbeits- bzw. Studienplatz nachhaltiger zu gestalten. Dies wird z.B. durch die Förderung von alternativen Verkehrsmitteln (öffentliche Verkehrsmittel, Fahrräder, Carsharing, etc.) und durch das Einbeziehen der Mitarbeitenden in das Mobilitätsmanagement erreicht [23]. Zudem läuft seit Januar 2016 das fachbereichsübergreifende Projekt EnEff:Stadt Campus Lichtwiese, welches sich zum Ziel gesetzt hat die Energieeffizienz von Campusgebäuden deutlich zu erhöhen [24]. In Abbildung 1 ist die Strukturierung des Dezernats V in einem Organigramm aufgeführt. Der Leiter des Dezernats V ist Herr Dingeldein. Er ist im Rahmen dieser Arbeit die zentrale Ansprechperson für das Dezernat V und nimmt in der Kommunikation mit den Mitarbeitenden eine wichtige Rolle ein. Weitere wichtige Ansprechpersonen stellen im Rahmen dieser Arbeit insbesondere die Leiter der Referate B, C, F und G dar. Frau Rössler (Referat B) und Herr Feuchter (Referat C) steuern gebäudespezifische Informationen bei und ermöglichen Vor-Ort-Begehungen. Herr Mehlstäubl (Referat F) ist die Ansprechperson für die Energieversorgung von Gebäuden. Herr Förster (Referat F) trägt Informationen zur Heizanlage bei und Frau Brossmann (Referat G) ist als Betreuerin an diesem Projekt beteiligt.

Organigramm Dezernat V – Baumanagement und Technischer Betrieb



Stand: 15.11.2020

Abbildung 1 - Organigramm des Dezernats V [25]

2.2 Standards zur Bilanzierung

Standards bilden eine konsistente Methode und eignen sich in den meisten Verfahren und Prozessen als wissenschaftliche Grundlage. Bei der Erstellung einer CO₂-Bilanzierung von Unternehmen (im Englischen Corporate Carbon Footprint) werden Standards angewendet. In verschiedenen Ländern, wie beispielsweise Frankreich, Japan und Südkorea, gibt es nationale Standards, welche allerdings keine einheitlichen und vergleichbaren CO₂-Bilanzierungen ermöglichen. [26]

Da die Vergleichbarkeit der CO₂-Bilanzierung des Dezernats V ein relevanter Aspekt dieser und zukünftiger Arbeiten ist, werden im Folgenden drei international verbreitete Standards vorgestellt und anschließend untereinander verglichen:

- Public Available Specification 2050 (PAS 2050)
- Greenhouse Gas Protocol Initiative (GHG Protocol)
- International Organization for Standardization (ISO): Insbesondere die ISO-Norm 14067 (Carbon Footprint for Products) und die ISO-Norm 14064 -1 (für Unternehmen)

2.2.1 PAS 2050

Im Jahr 2008 entstand durch eine Zusammenarbeit zwischen dem britischen Normungsinstitut (BSI), dem britischen Umweltministerium, dem Departement for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) und dem Unternehmen Carbon Trust die Publicity Available Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (PAS 2050). [26]

Das Ziel der PAS 2050 ist es die CO₂-Bilanz von verschiedenen Produkten und Dienstleistungen vergleichbar zu machen und somit einen Standard zu erschaffen. Ein klarer Nachteil der PAS 2050 ist, dass diese Richtlinien einen britischen Standard darstellen und auf internationaler Ebene kaum Anwendung findet.

2.2.2 GHG Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard

Das GHG Protocol entstand aus einer Multi Stakeholder Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus Unternehmen, Nichtregierungsorganisationen und Regierungen. Die Leitung wird durch das World Resources Institut (WRI) und dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) übernommen. Es handelt sich beim GHG Protocol um einen transnationalen Standard, der zur Bilanzierung von Treibhausgas-Emissionen dient und welcher die Unternehmensebene und öffentliche Bereiche adressiert [27]. Das GHG Protocol entstand in den 1990er Jahren, als sich für Unternehmen die Notwendigkeit ergab ihre Treibhausgasmessungen und die Berichterstattung an einen internationalen Standard anzupassen. Im Jahr 2001 wurde die Norm veröffentlicht. Laut eigenen Angaben haben im Jahr 2016 ca. 92 % der 500 umsatzstärksten Unternehmen weltweit das GHG Protocol verwendet, um ihre Emissionen zu bestimmen. [28]

Auch die Landesverwaltung in Hessen richtet sich nach diesem Standard. Das GHG Protocol ist kostenfrei für die Öffentlichkeit zugänglich und in mehreren Sprachen verfügbar. Durch seine einfache Handhabung und seine praxisnahe Orientierung stellt das GHG Protocol einen international weit verbreiteten Standard dar [29].

2.2.3 ISO-Norm 14067 und ISO-Norm 14064-1

Die ISO-Norm 14064 Teil 1 (Treibhausgase-Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene) wurde im Jahr 2006 veröffentlicht und ist eine internationale Norm. Diese richtet sich an die Unternehmensebene, um Treibhausgasemissionen zu bilanzieren und einheitlich dokumentieren zu können. Die ISO-Norm 14064 baut dabei auf das GHG Protocol auf und hat eine Harmonisierung der bereits vorhandenen Standards sowie die Erstellung von Spezifikationen mit breiter Anwendbarkeit als Ziel. [26, 28]

Die ISO-Norm 14067 (Carbon Footprint for Products) wurde 2018 veröffentlicht und bezieht sich auf die Produktebene. Beide ISO-Normen sind kostenpflichtig für die Öffentlichkeit zugänglich. Jede CO₂-Bilanzierung muss von einem Gutachter bestätigt werden. Da die ISO-Norm 14067 erst kürzlich veröffentlicht wurde, ist diese in der Fachliteratur bisher kaum aufzufinden.

2.2.4 Auswahl des Standards zur Bilanzierung

Zusammenfassend kann gezeigt werden, dass die drei Standards sich in einigen Punkten unterscheiden. In Tabelle 2 sind unterschiedliche Kriterien zum Vergleich der zuvor genannten Standards aufgeführt. Die Kriterien orientieren sich dabei an den Bedingungen, welche durch die Aufgabenstellung gesetzt sind. Ein Pluszeichen symbolisiert, dass ein Kriterium erfüllt wird. Ein Minuszeichen zeigt auf, dass die Methode an dieser Stelle das Kriterium nicht erfüllt. Der Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass im Fall der Bilanzierung des Dezernats V das GHG Protocol die bestmögliche Lösung darstellt und daher genutzt wird.

	Kosten	Internationaler Standard	Vergleichbarkeit	Verfügbarkeit	Aktualität
PAS 2050	+	—	—	+	—
GHG Protocol	+	+	+	+	+
ISO 14067 und ISO 14064-1	—	+	+	—	+

Tabelle 2 - Vergleich der unterschiedlichen Bilanzierungsstandards

Eine Besonderheit einer CO₂-Bilanzierung, die auf dem GHG Protocol basiert, ist die Einteilung der Emissionen. Das GHG Protocol klassifiziert Emissionen in drei Kategorien, den sogenannten Scopes.

Scope 1 - direkte Emissionen

Direkte Emissionen stammen aus Quellen, welche die bilanzierte Institution direkt besitzt oder kontrolliert. Diese können dabei in verschiedene Kategorien aufgeteilt werden. Dazu gehört u.a. die Erzeugung von Strom, Dampf und Wärme. Diese entstehen durch die stationäre Verbrennung von Kraftstoffen wie beispielsweise Kessel, Öfen oder Turbinen. Ein weiterer Punkt, bei dem direkte Emissionen generiert werden, ist die Herstellung und Verarbeitung von Chemikalien und Materialien

und die Abfallverarbeitung. Auch die Emissionen, die beim Transport von Materialien, Produkten, Abfällen und Angestellten mit firmeneigenen Beförderungsmitteln entstehen, werden unter direkten Emissionen aufgelistet und berechnet. Abschließend werden flüchtige Emissionen berücksichtigt. Diese entstehen durch absichtliche oder unabsichtliche Freisetzung von Treibhausgasen, wie beispielsweise durch Gerätelecks oder defekte Dichtungen. [30]

Scope 2 - indirekte Emissionen aus Elektrizität und Wärme

Unter Scope 2 fallen indirekte Emissionen aus zugekauftem Strom, Fernwärme, Fernkälte und Dampf. Hierbei werden die Emissionen bei der Erzeugung der Energie, die von außerhalb bezogen wird, berechnet. Wichtige Informationen, um die Emissionen aus Scope 2 richtig zu berechnen, sind beispielsweise die Menge und die Erzeugungsart des eingekauften Stroms. [30, 31]

Scope 3 - weitere indirekte Emissionen

Zu Scope 3 zählen sämtliche indirekte Emissionen, die nicht Scope 2 zugeordnet werden. Als Beispiel können Emissionen durch Zulieferer, Dienstleistende oder Mitarbeitende genannt werden. Emissionen aus Scope 3 werden in vorgelagerten und nachgelagerten Aktivitäten in der Wertschöpfungskette (vgl. upstream and downstream activities) untergliedert.

Vorgelagerte Aktivitäten umfassen Geschäftsreisen der Mitarbeitenden mit unternehmensfremden Transportmitteln, Pendelwege und Emissionen durch zugelieferte Einkäufe. Nachgelagerte Aktivitäten beinhalten beispielsweise Emissionen durch die Auslieferung von Produkten an Kunden, Emissionen durch das Weiterverarbeiten von Zwischenprodukten und der Gebrauch von verkauften Produkten. [30, 31]

Abbildung 2 zeigt graphisch den Zusammenhang der verschiedenen Emissionen und stellt weitere Beispiele für die verschiedenen Scopes dar.

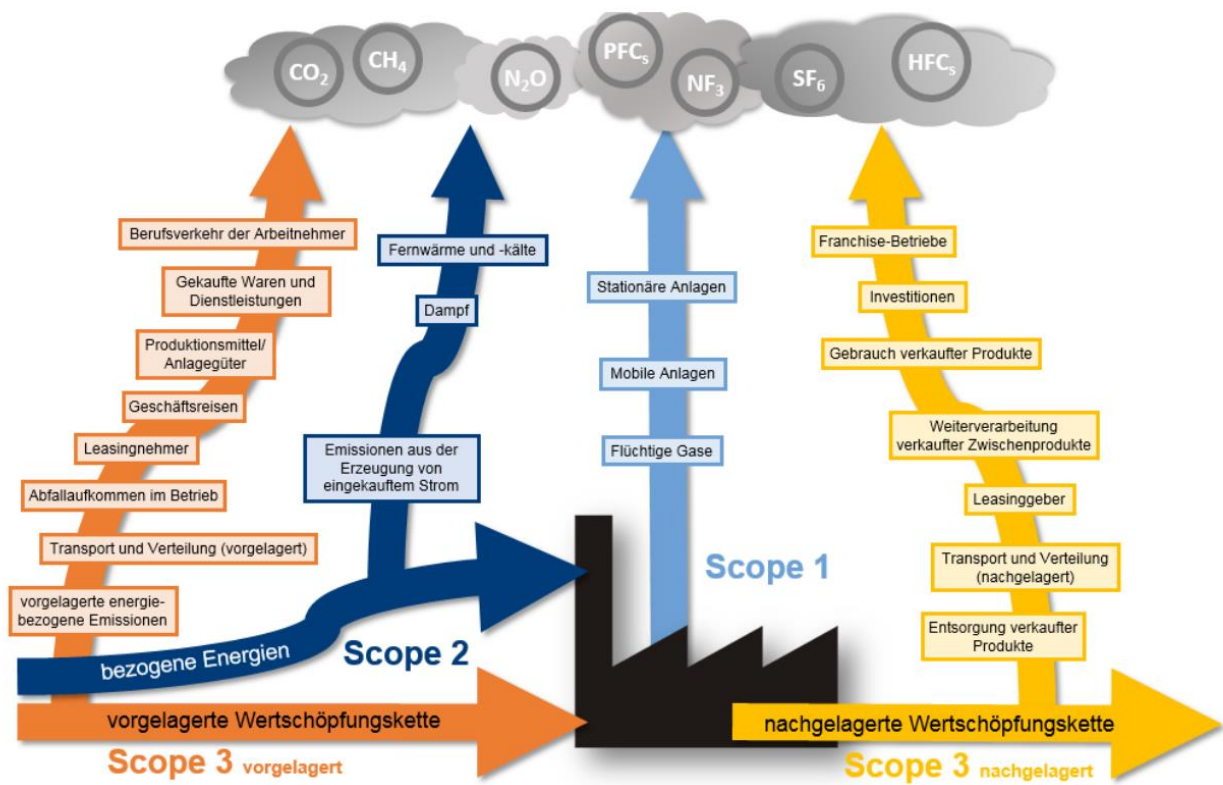


Abbildung 2 - Einteilung der Emissionsfaktoren [31]

2.3 CO₂-Rechner

Damit die CO₂-Bilanz des Dezernats V berechnet werden kann, ist es notwendig einen geeigneten CO₂-Rechner auszuwählen. Diese Programme dienen der Erfassung und Auswertung der CO₂-verursachenden Faktoren. Das daraus resultierende Ergebnis liefert einen Wert mit der Einheit kg CO₂ eq. Im folgenden Abschnitt werden dazu verschiedene Programme vorgestellt und anhand festgelegter Kriterien verglichen und bewertet. Die Kriterien umfassen die Kompatibilität mit dem GHG Protocol, kostenfreie Zugänglichkeit sowie die Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit der Emissionsfaktoren.

ecocockpit

Der ecocockpit CO₂-Rechner ist ein Angebot der Effizient-Agentur Nordrhein-Westfalen. Mit diesem Rechner lassen sich sowohl Standorte als auch Prozesse und Produkte bilanzieren. Des Weiteren basiert dieser CO₂-Rechner auf dem GHG Protocol. Während der Bilanzierung ist es möglich eine Aufteilung in die drei Scopes vorzunehmen. Um den ecocockpit CO₂-Rechner nutzen zu können, ist eine Registrierung erforderlich. Nach der Registrierung können die Systemgrenzen definiert und abgespeichert werden. Dadurch sind die Systemgrenzen stets sichtbar und einheitlich. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit eigene Emittenten zu definieren, sofern diese in einer bereits angelegten Datenbank nicht vorhanden sind. Allerdings ist der ecocockpit CO₂-Rechner nur als Online-Tool nutzbar. [32]

KlimAktiv

Die KlimAktiv gemeinnützige Gesellschaft zur Förderung des Klimaschutzes mbH bietet auf ihrer Website unterschiedliche CO₂-Rechner an. Dort ist es möglich CO₂-Bilanzierungen für Unternehmen, Veranstaltungen, Privatpersonen oder für Film- und TV-Produktionen durchzuführen. Für Unternehmen besteht die Möglichkeit den CO₂-Rechner als Onlinetool kostenlos zu nutzen. In der kostenlosen Version wird die Basisversion angeboten. Dazu ist, wie beim CO₂-Rechner von ecocockpit, eine kostenlose Registrierung notwendig. Der KlimAktiv CO₂-Rechner hat sowohl das GHG Protocol als auch die ISO-Norm 14064-1 als Grundlage. Hier lassen sich keine eigenen Emittenten hinzufügen oder Emissionsfaktoren verändern. [33]

CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes

Der CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes ist online frei zugänglich. Um diesen Onlinerechner zu nutzen bedarf es keiner vorherigen Registrierung. Dieser CO₂-Rechner ist für die Bilanzierung von Unternehmen nicht geeignet, da hier eine Bilanzierung von Privatpersonen angestrebt wird. In einem ersten Schnellcheck können sich Nutzenden das persönliche CO₂-Äquivalent im Jahr anzeigen lassen. In einem zweiten Schritt ist eine CO₂-Bilanzierung möglich. Hier werden verschiedene Kategorien erfragt, wie z.B. Wohnen, Strom, Mobilität, Ernährung und weiterer Konsum. Der Wert der CO₂-Bilanz wird mit dem deutschen Durchschnitt in den zuvor genannten Kategorien verglichen. [34]

Privatpersonen, welche dem Thema Nachhaltigkeit gegenüber aufgeschlossen sind und Interesse an einem Vergleichswert bzgl. ihres CO₂-Austoßes in einem Jahr haben, ist dieser Rechner zu empfehlen.

CCaLC (V3.3)

Der CCaLC CO₂-Rechner wurde im Rahmen einer Studie entwickelt, welche vom Engineering and Physical Sciences Research Council, dem Natural Environment Research Council, sowie dem Carbon Trust der britischen Regierung gefördert wird. Unter der Federführung der University of Manchester entstand daraus ein Tool, welches auf verschiedenen Plattformen, unter anderem auch für Microsoft Excel, nutzbar ist. Der CO₂-Rechner basiert auf den Methoden der ISO 14044 und PAS 2050. Da der Rechner von britischen Behörden entwickelt wurde, ist die Benutzersprache Englisch. [35]

Nach mehrfachen Versuchen der Probenutzung und Analyse dieses Rechners, erschienen Fehlermeldungen des Programms, welche sich nicht beheben ließen.

ClimCalc 2.0 Treibhausbilanzierungstool

Der ClimCalc 2.0 CO₂-Rechner ist ebenfalls ein excelbasiertes Bilanzierungstool. Dieses Projekt entstand aus einer Zusammenarbeit der Allianz Nachhaltige Universitäten Österreich. Diese Allianz wurde im Jahr 2012 von der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU Wien) und der Universität Graz gegründet. Stand Juni 2020 nehmen 15 weitere österreichische Universitäten an dieser Allianz teil. [36]

Aufgrund der Tatsache, dass dieser CO₂-Rechner als erweiterbare Liste aufgebaut ist und einzelne Emissionsfaktoren individuell anpassbar sind, wird in der folgenden Arbeit dieser Rechner als Grundlage für einen eigenen CO₂-Rechner verwendet. Des Weiteren ist der CO₂-Rechner deutschsprachig und speziell für Universitäten entwickelt. Zusammenfassend ist der CO₂-Rechner der BOKU Wien der geeignetste für dieses Projekt.

2.4 Emissionsfaktoren

Laut Definition ist ein Emissionsfaktor das Verhältnis von der Menge eines freigesetzten Stoffes zu der aufgewandten Menge eines Ausgangsstoffes. Bei der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen gibt dies beispielsweise an, welche Menge an Treibhausgas pro Kilowattstunde Energie, pro Fahrzeugkilometer oder pro hergestellte Stückzahl freigesetzt wird. Die ermittelten Emissionsfaktoren müssen anschließend mit den verbrauchten Mengen multipliziert werden, um ein CO₂-Äquivalent zu erhalten. Emissionsfaktoren spielen vor allem bei der Betrachtung von Treibhausgasen eine große Rolle, da diese einen Einfluss auf das atmosphärische Gleichgewicht nehmen. Die daraus resultierenden Folgen sind weitreichend (vgl. Kapitel 1.1). [37]

Um den Einfluss von mehreren Treibhausgasen in einer Kennzahl berücksichtigen zu können, werden CO₂-Äquivalente verwendet. Dabei wird die Treibhausgaswirkung von CO₂ als eins definiert und anderen Substanzen ein entsprechendes Äquivalent zugeordnet. Die Bestimmung von CO₂-Äquivalenten ist sehr aufwendig und unterliegt gewissen Schwankungen. So muss z.B. die Verweilzeit der Gase in der Atmosphäre berücksichtigt werden, da diese sich bei den verschiedenen Stoffen stark unterscheiden kann. Während CO₂ für einige Jahrhunderte in der Atmosphäre verweilt, hat beispielsweise Methan eine Halbwertszeit von 15 Jahren. Auch die Konzentration der jeweiligen Stoffe, welche sich bereits in der Atmosphäre befinden, können Einfluss auf den ermittelten Wert nehmen. Aufgrund dieser komplexen Zusammenhänge schwankt der in der Literatur verwendete Wert für viele Stoffe. [38]

Tabelle 3 zeigt das durchschnittliche CO₂-Äquivalent einiger Treibhausgase, wobei ein Bezugszeitraum von 100 Jahren angenommen wird.

Gas	Verweilzeit [a]	CO ₂ -Äquivalent bezogen auf 100 Jahre [CO ₂ eq]
Kohlenstoffdioxid	5 – 200	1
Methan	12	25
Distickstoffmonoxid	114	298
Fluorkohlenwasserstoffe	1.4 – 270	124 – 14,800
perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe	740 – 50,000	7,390 – 12,200
Schwefelhexafluorid	3,200	22,800

Tabelle 3 - Gase in Relation zur Klimawirksamkeit auf 100 Jahre im Vergleich zu CO₂ [39]

Mithilfe solcher Tabellen kann die Klimawirksamkeit nahezu jedes Produkts, Prozesses oder jeder Aktivität bestimmt werden, indem diesen die entsprechenden CO₂-Äquivalente zugeordnet werden. So werden bei einer Flugreise nicht nur die freigesetzten CO₂-Emissionen berücksichtigt, sondern z.B. auch entstehendes Ozon und Wasserdampf. Die daraus resultierende Bilanz ist rund dreimal höher als bei der reinen Betrachtung der CO₂-Emissionen. Bei der Herstellung von Produkten, ist es sinnvoll das CO₂-Äquivalent nicht nur für die Herstellung und Nutzung des Produkts zu berücksichtigen, sondern auch die Ressourcengewinnung, den Vertrieb und das Recycling zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung sämtlicher Faktoren des Produktlebenszyklus macht eine Bilanzierung wesentlich komplexer. [2]

Der CO₂-Rechner ClimCalc 2.0, welcher die Grundlage für die Bilanzierung der Emissionen bildet, berücksichtigt zwar Emissionsfaktoren aus allen drei Scopes, allerdings nur insofern diese mehr als 1 % der Gesamtbilanz ausmachen. So kommt es, dass beispielsweise die Wasserversorgung und Wasserentsorgung nicht als Emissionsquelle aufgeführt sind. Dies ist notwendig, um den Aufwand der Bilanzierung in einem sinnvollen Rahmen und das Ergebnis weiterhin repräsentativ zu halten. Neben der Aufteilung in die drei Scopes wird zur besseren Übersicht eine Unterteilung der Emissionsfaktoren in die Kategorien Energieeinsatz, Mobilität und Materialeinsatz unternommen. Bei den jeweiligen Emissionsfaktoren wird zudem aufgeschlüsselt, welcher Anteil der Emissionen welchem Scope zugeordnet ist. So kann ein einzelner Emissionsfaktor Emissionsanteile in zwei Scopes besitzen. Die Werte der Emissionsfaktoren, welche im CO₂-Rechner bereits vordefiniert sind, werden jährlich aktualisiert und basieren auf wissenschaftlichen Arbeiten und umfangreichen Datenbasen. Wichtige Quellen sind dabei die Datenbank des IPCC und des Umweltbundesamt, das Bilanzierungstool GEMIS und die Datenbank ECOINVENT. Dabei werden alle wesentlichen vor- und nachgelagerten Prozesse berücksichtigt. Maßnahmen zur CO₂-Reduktion durch CO₂-Kompensationmaßnahmen werden bei der Berechnung jedoch nicht betrachtet. [40, 41]

Da die Daten für einige Emissionsfaktoren ortsabhängig sind, ist es sinnvoll deren Werte kritisch zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen. Dies gilt insbesondere für die Emissionsfaktoren von Wärme und Strom, da diese stark von der Herstellung und der gegebenen Infrastruktur abhängen. Somit müssen die Werte jeweils spezifisch ermittelt werden. Des Weiteren werden die Emissionsfaktoren von einigen Materialien, welche von der Bilanzierungsnorm bisher nicht

berücksichtigt werden, ergänzt. Eine Tabelle mit sämtlichen berücksichtigten Emissionsfaktoren ist im CO₂-Rechner enthalten.

3 Bilanzierung des Dezernats V

In diesem Kapitel werden die Gesamtemissionen am Dezernat V ermittelt. Dafür wird zunächst eine Systemgrenze um das Dezernat V definiert. Anschließend werden alle Daten, welche zum Emissionsausstoß beitragen, zusammengefasst. Dies geschieht über Umfragen an Mitarbeitenden und das Erfragen von Informationen aus der Verwaltung und dem Energiemanagement. Anschließend werden die dadurch erhobenen Informationen ausgewertet und in den CO₂-Emissionsrechner eingefügt. Schlussendlich werden die Gesamtemissionen dargestellt und kategorisiert.

3.1 Systemgrenze

Für eine strukturierte Betrachtung des Dezernats V ist es notwendig die Systemgrenze exakt zu definieren. In Abbildung 3 ist die Systemgrenze für das Dezernat V abgebildet. Der Bilanzierungszeitraum umfasst das gesamte Jahr 2019.

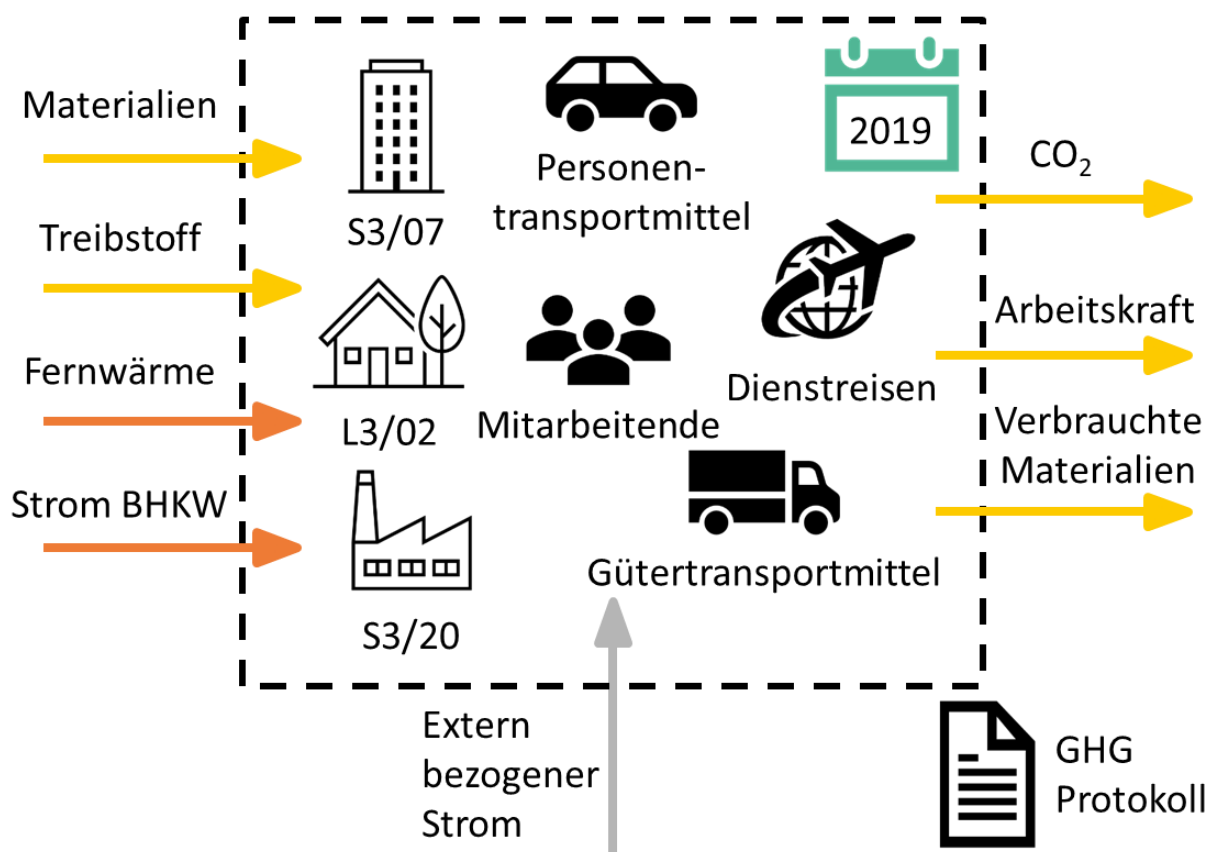


Abbildung 3 - Systemgrenze des Dezernats V

Als Eingangsgrößen werden dabei die eingekauften Materialien, Treibstoffe sowie Strom aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW), extern bezogener Strom und Fernwärme für die Gebäude des Dezernats V betrachtet. Bei den Materialien handelt es sich um Rohmaterialien für die Werkstatt, aber auch um Büroeinkäufe, wie IT-Geräte. Eine genaue Auflistung der betrachteten Materialien findet sich in Kapitel 3.5. Auf die Versorgung der Dezernatsgebäude mit Strom und Fernwärme wird näher in Kapitel 3.4 eingegangen.

In dem System selbst betrachtet werden die Gebäude sowie die 110 Mitarbeitenden des Dezernats V. Zudem werden Transportmittel für Güter und Personen sowie die von den Mitarbeitenden getätigten Dienstreisen berücksichtigt. Beim Personentransport werden der tägliche Arbeitsweg und sämtliche Fahrten, welche im Rahmen von dienstlichen Tätigkeiten durchgeführt werden, ermittelt.

Als Ausgangsgröße stehen die freigesetzten CO₂-Emissionen im Mittelpunkt. Darüber hinaus stellen die Mitarbeitenden Ihre Arbeitskraft zur Verfügung. Verbrauchte Materialien wie z.B. Abfall treten aus der Systemgrenze wieder aus. Die zuletzt genannten Punkte dienen lediglich der Vollständigkeit der Ausgangsgrößen, sind für die CO₂-Bilanz jedoch nicht von Bedeutung.

Für eine Bilanzierung gemäß dem GHG Protocol sind, im Gegensatz zu den Emissionsfaktoren aus Scope 1 und Scope 2, die Emissionsfaktoren aus Scope 3 nicht verpflichtend miteinzubeziehen. Das Ermitteln der Daten aus Scope 3 ist dabei häufig mit einem deutlich erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Für eine umfassende Bilanzierung des Dezernats V und die Ableitung von Maßnahmen zur Verringerung von CO₂-Emissionen am Dezernat V ist die Betrachtung dieser jedoch unerlässlich. Deren Einfluss auf die Gesamtbilanz ist noch unbekannt und muss daher erst ermittelt werden. Sollte sich herausstellen, dass deren Einfluss auf die Gesamtbilanz gering ausfällt, so ist für weitere Bilanzierungen die Notwendigkeit der Datenerhebung zu hinterfragen.

3.2 Datenerhebung

Im Folgenden werden die spezifischen Emissionsfaktoren des Dezernats V in die entsprechenden Scopes eingeordnet. Zudem wird die Methodik zur ersten Mitarbeitendenumfrage zur Arbeitsweise am Dezernat V erläutert.

3.2.1 Methodisches Vorgehen

Zur Ermittlung der Anteile der verschiedenen Emissionsfaktoren muss eine Vielzahl von Daten erhoben werden. Dabei geht es sowohl um den Strom- und Wärmeverbrauch der Gebäude als auch um die verbrauchten Materialien und Brennstoffe. In Kapitel 3.4 wird zudem auf eine Umfrage am Dezernat V bzgl. des individuellen Verhaltens der Mitarbeitenden eingegangen.

Im Folgenden werden die Emissionsfaktoren aus den drei Scopes, welche im GHG Protocol aufgeführt sind (vgl. Kapitel 2.2.4), für das Dezernat V spezifiziert und zugeordnet.

Scope 1 beinhaltet direkte Emissionen aus Ressourcen, welche einer Institution gehören oder die unter deren Kontrolle stehen. Im Dezernat V werden Strom und Wärme extern bezogen. Die Emissionen aus deren Verbrauch fallen somit nicht in Scope 1. In der Kategorie Transport resultieren die Emissionen aus der Verbrennung von Treibstoffen. Das Dezernat V besitzt derzeit ein Elektrofahrzeug [42], womit dessen Emissionen über den Stromverbrauch eingehen. Die flüchtigen Emissionen stammen vorwiegend aus Leckagen. Diese resultieren insbesondere aus Kühlmittelverlusten in Klimaanlage.

Scope 2 beinhaltet die indirekten Emissionen aus dem Zukauf von Strom und Wärme. Die Gebäude L3/02 und S3/07 werden größtenteils über das BHKW der TU Darmstadt versorgt. Dabei kann der gesamte Wärmebedarf und 80 % des Strombedarfs der Gebäude gedeckt werden. Die restlichen 20 % des Strombedarfs werden mit Ökostrom abgedeckt. Das S3/20 hingegen wird lediglich mit Wärme aus dem BHKW versorgt. Die Stromversorgung erfolgt ausschließlich über den externen Anbieter enercity. [43]

Die daraus resultierenden unterschiedlichen CO₂-Äquivalente für die Strom- und Wärmeversorgung der verschiedenen Gebäude werden bei der Berechnung der Gesamtbilanz (vgl. Kapitel 3.6) entsprechend berücksichtigt.

Scope 3 beinhaltet weitere indirekte Emissionen. Die Ermittlung der Emissionsfaktoren aus diesem Scope sind für eine Bilanzierung nach dem GHG Protocol optional. Im Zuge dieser Arbeit werden jedoch sämtliche Faktoren aus Kapitel 3.1 berücksichtigt. Dabei handelt es sich um den Materialverbrauch in den Büros und um den Arbeitsweg der Mitarbeitenden. Scope 3 ist besonders stark vom individuellen Verhalten der Mitarbeitenden geprägt. Um deren Einfluss zu analysieren und gegebenenfalls zu optimieren, werden zwei Umfragen durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.3.1 und 4.1.1 dargelegt.

3.2.2 Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V

Für die Umfrage wird das Online-Umfrage-Tool SoSci verwendet, da dieses den Datenschutzerfordernissen der TU Darmstadt entspricht.

Im Folgenden wird die Gliederung der Umfrage und deren spezifische Fragen genauer beschrieben. Der Vollständigkeit halber ist die gesamte Umfrage im Anhang abgelegt (vgl. Anhang D), wobei die Abkürzungen „F“ für Fragen und „FF“ für Folgefragen genutzt werden. Folgefragen hängen dabei von der Antwort auf die jeweils vorherige Frage ab und werden gegebenenfalls übersprungen.

Die erste Umfrage unterteilt sich in einen Hauptteil und in einen freiwilligen Teil, welche klar voneinander getrennt sind. Der Hauptteil befasste sich mit den Themen:

- Pendelweg und Wege während der Arbeitszeit
- Arbeitsweise
- Dienstreisen
- Allgemeines Interesse zu der Thematik CO₂-Einsparung

Mit den Fragen der ersten Kategorie der Umfrage werden die Arbeitswege, sowie die verwendeten Verkehrsmittel, mit denen diese zurückgelegt werden, erfragt. Daher ist es auch von Interesse zu erfahren, wie viele Kilometer die Mitarbeitenden während der Arbeitszeit zurücklegen und welches Verkehrsmittel sie dafür nutzen.

Der zweite Unterpunkt des Hauptteils befasst sich mit der Arbeitsweise innerhalb des Dezernats V. Darunter fallen beispielsweise Gewohnheiten beim Verlassen des Büros oder die Nutzung einer elektrischen Heizung und eines Ventilators. Besonders in diesem Abschnitt erweisen sich die Folgefrage als sehr nützlich, da sich z.B. bei der Nichtbenutzung eines Geräts etwaige Folgefragen erübrigen. Somit sind die Fragen an jeden Mitarbeitenden angepasst und die Zeit zum Beantworten des Fragebogens wird möglichst kurzgehalten.

Der dritte Punkt beschäftigt sich mit den Dienstreisen. Dabei ist vor allem die Einschätzung der Mitarbeitenden interessant, inwiefern eine Dienstreise auch durch ein digitales Treffen gleichwertig ersetzt werden kann.

Der letzte Abschnitt des Hauptteils der Umfrage beschäftigt sich mit dem allgemeinen Interesse an der Thematik CO₂-Einsparung und der Bereitschaft der Mitarbeitenden diese zu reduzieren. Die Bewertung erfolgt dabei anhand einer Skala.

Der freiwillige Teil besteht aus vier Fragen, deren Beantwortung über das Verhalten der Mitarbeitenden am Arbeitsplatz hinausgehen. Hierbei werden der individuelle Fleischkonsum und

häufig genutzte Getränkeverpackungen erfragt. Des Weiteren können die Mitarbeitenden des Dezernats V hier eigene Verbesserungsvorschläge angeben oder allgemeine Wünsche bezüglich des Themas äußern.

Jeder Mitarbeitende des Dezernats V hat Anfang Dezember 2020 einen Link zu der Umfrage über die eigene Arbeitsweise erhalten. Im Folgenden werden die Aspekte des Zeitpunktes der ersten Umfrage, der Anzahl der Teilnehmenden und die spezifischen Fragestellungen kritisch hinterfragt. Die Umfrage beinhaltet sowohl Fragen mit offenen Textfeldern, Single-Choice-Fragen, Multiple-Choice-Fragen und Skala-Fragen. Zur Auswertung der Daten wird eine Korrelationsmatrix erstellt. Die Anwendung dieses Werkzeugs ist bei der Erstellung der Umfrage noch nicht vorgesehen.

3.3 Auswertung und Analyse der Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V

Wie im Kapitel 3.2.2 beschrieben, wurden die allgemeinen Daten, welche nicht jeden einzelnen Mitarbeitenden am Dezernat V betreffen, durch Mailkontakt und Informationslisten an verantwortliche Mitarbeitenden gezielt erfragt. Das Ziel dieser Umfrage ist ein Gesamtbild des Arbeitsalltags des Dezernats V im Jahr 2019 zu erhalten. Dafür sollen die größten Emissionsfaktoren der einzelnen Mitarbeitenden ermittelt und die Einstellung dieser bezüglich einer CO₂-Emissionsreduzierung erfragt werden. Diese Umfrage richtet sich sowohl an die Mitarbeitenden im Verwaltungsgebäude als auch in der Werkstatt.

3.3.1 Ergebnisse der Umfrage

Der gewählte Zeitpunkt, Anfang Dezember 2020, stellte sich als ungünstig heraus. Da der Umfragebeginn knapp zwei Wochen vor der Weihnachtspause lag, konnten die Mitarbeitenden, die zu diesem Zeitpunkt bereits im Urlaub waren, nicht teilnehmen. Es haben 45 der 110 Mitarbeitenden des Dezernats V an der Umfrage teilgenommen. Dies stellt 41 % der Belegschaft dar. Die Repräsentanz der Umfrage für das gesamte Dezernat V ist damit in Frage zu stellen, da zu vermuten ist, dass die Umfrage vorwiegend von Mitarbeitenden ausgefüllt wurde, welche von vornherein Interesse an der Thematik haben. Die Ergebnisse der Umfrage werden vom Umfragetool SoSci als reines Zahlenformat ausgegeben. Um die Ergebnisse auswerten zu können, werden die Antworten in eine Excel-Tabelle überführt. Dort lassen sich die Zahlenwerte wieder den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten zuordnen. Für eine bessere Veranschaulichung werden ausgewählte Fragen grafisch dargestellt. Nicht jede Frage hat sich als relevant für die Auswertung erwiesen. Aus diesem Grund sind hier nur Auswertungen aufgeführt, deren Ergebnisse zielführend für potenzielle Maßnahmen sind oder stark vom erwarteten Ergebnis abweichen (vgl. Kapitel 3.3).

Die Auswertung des Pendelweges erfolgt durch das Auftragen der Anzahl der Mitarbeitenden über die Wahl der verwendeten Transportmittel. Zusätzlich findet eine Aufschlüsselung nach der Wegstrecke statt. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass 44 % der Mitarbeitenden den Pendelweg mit dem Fahrrad zurücklegen. Außerdem ergibt die Auswertung, dass lediglich 11 % der Mitarbeitenden über 25 km von ihrem Arbeitsplatz entfernt wohnen. Diese räumliche Nähe und die damit verbundene Möglichkeit auf das Autofahren zu verzichten, hat einen großen Einfluss auf die Emissionen, welche durch das Pendeln entstehen.

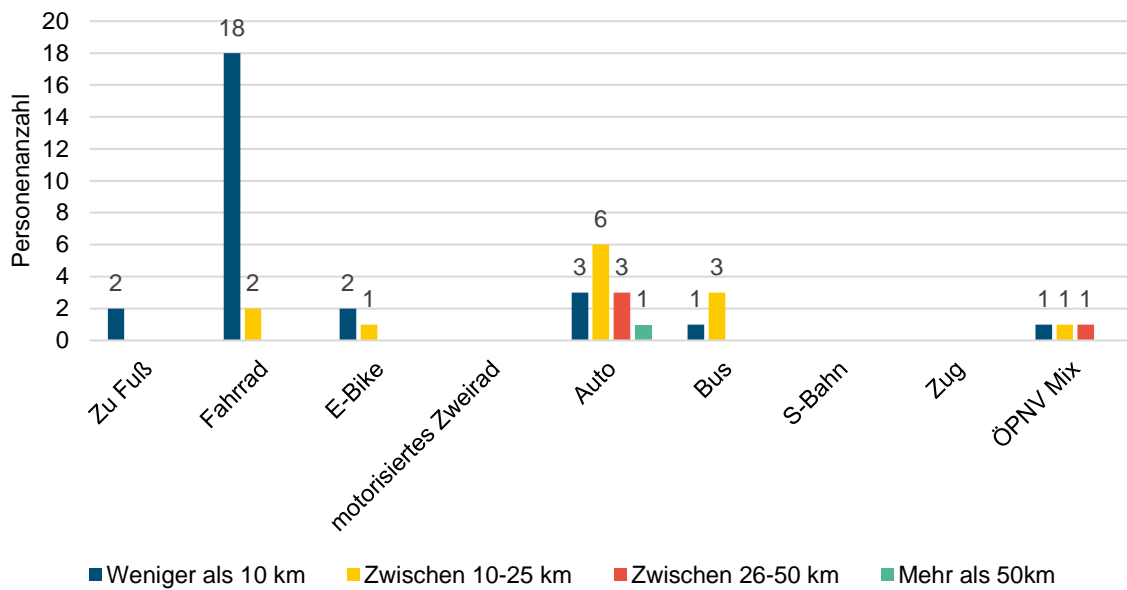


Abbildung 4 - Pendelweg der Mitarbeitenden des Dezernats V

Die Abbildung 5 stellt die Personenanzahl bezogen auf ihren zurückgelegten Dienstweg pro Woche dar. Zudem erfolgt eine Unterteilung in die unterschiedlich genutzten Fahrzeuge. Der größte Anteil der zurückgelegten Strecke pro Arbeitswoche beläuft sich auf weniger als 10 km. Davon wiederum wird ein großer Anteil mit dem Fahrrad absolviert.

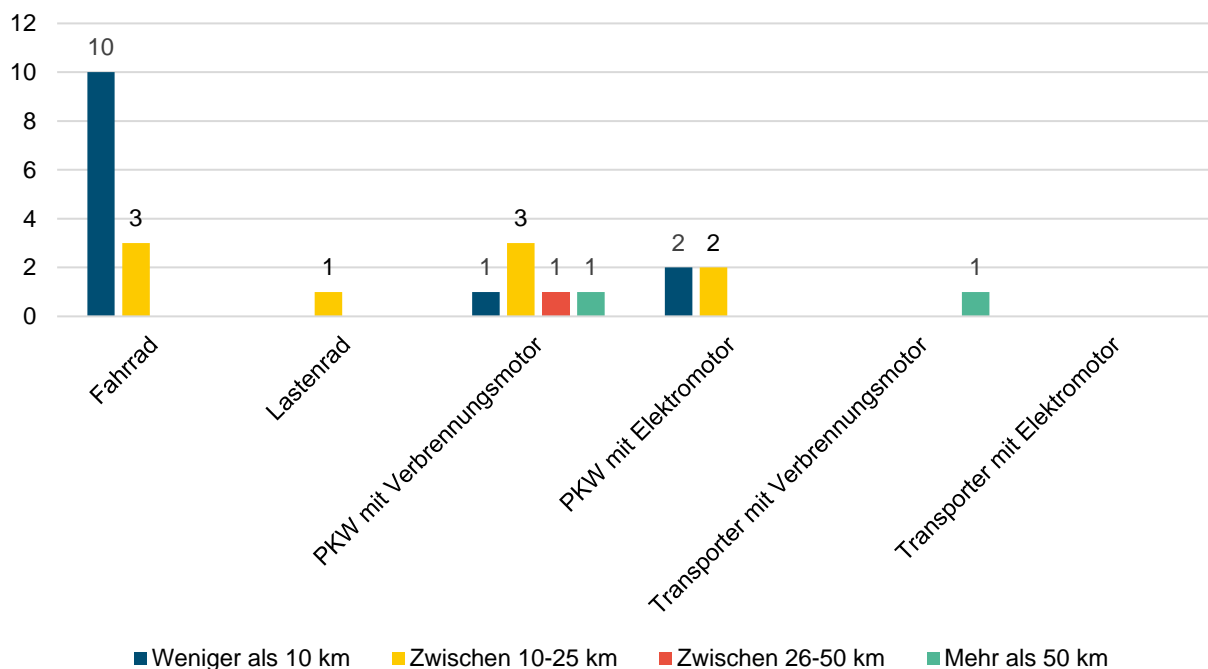


Abbildung 5 - Dienstweg der Mitarbeitenden des Dezernats V

Die Abbildung 6 zeigt, dass von den Mitarbeitenden, die eine Dienstreise getätigt haben, 40 % ein digitales Treffen als gleichwertige Alternative gesehen hätten. Dieses Ergebnis zeigt, dass nicht jede

Dienstreise physisch getätigt werden muss. Durch die Digitalisierung ist es möglich einen Großteil der Emissionen, welche durch die Dienstreisen anfallen, zu vermeiden. So entfallen etwa die Emissionen für die An- und Abreise oder durch Hotelaufenthalte. Ein weiterer positiver Nebeneffekt besteht in der eingesparten Zeit, welche anderweitig genutzt werden kann.

Haben Sie im Jahr 2019 eine Dienstreise getätigt?

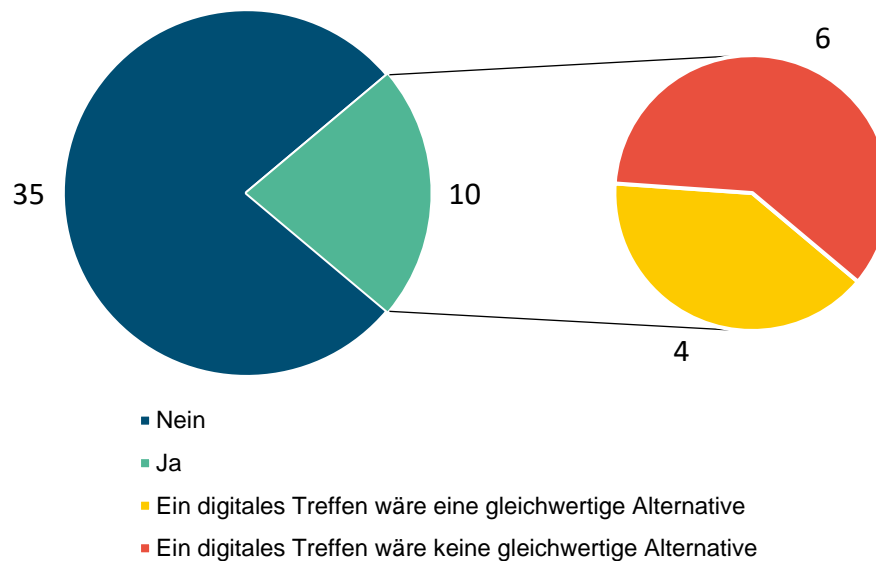


Abbildung 6 - Dienstreisen der Mitarbeitenden des Dezernats V

In der Kategorie Arbeitsweise wurde das Verhalten der Mitarbeitenden an ihrem Arbeitsplatz ermittelt. Dabei sollen potenzielle Möglichkeiten zur Emissionseinsparung ausfindig gemacht werden. Beispielhaft ist dafür in Abbildung 7 aufgeführt, wie die Mitarbeitenden Ihren Computer handhaben, wenn sie ihren Arbeitsplatz für länger als 10 Minuten verlassen.

Die Verteilung zeigt, dass lediglich 16 % der Mitarbeitenden ihren Computer tatsächlich ausschalten. Die Option den Computer in den Stand-by-Modus zu versetzen, nutzen 42 % der Mitarbeitenden. Genauso viele Mitarbeitenden lassen ihren Computer jedoch einfach an. Dies legt die Vermutung nahe, dass hier ein Einsparungspotential vorhanden ist. Im Kapitel 4.5 wird dies exemplarisch berechnet.

Schalten Sie beim Verlassen Ihres Büros (länger als 10-15 Minuten) Ihren PC aus?

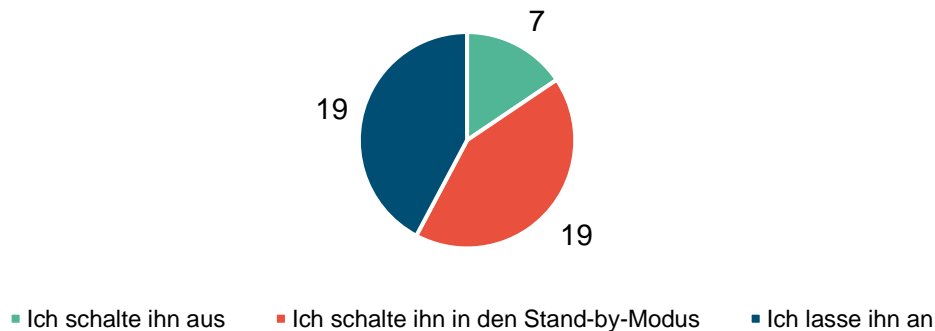


Abbildung 7 - Verhalten bei kurzen Pausen der Mitarbeitenden des Dezernats V

Ein sehr eindeutiges Ergebnis liefert die Abbildung 8. In dieser ist zu erkennen, dass ca. 95 % der Mitarbeitenden ihren Computer am Ende ihres Arbeitstages komplett ausschalten.

Schalten Sie am Ende Ihres Arbeitstages Ihren PC aus oder lassen Sie ihn bis zum nächsten Tag im Stand-by-Modus?

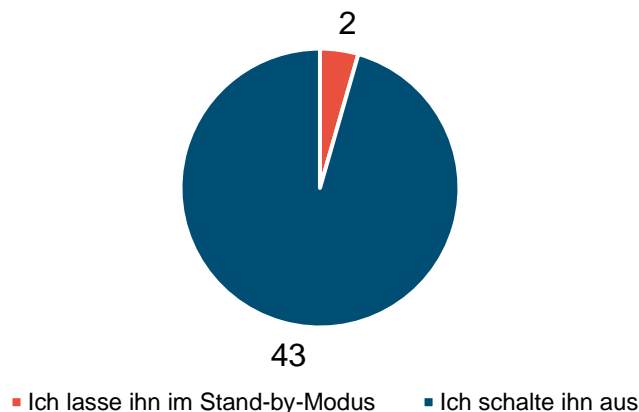


Abbildung 8 - Verhalten nach Dienstschluss der Mitarbeitenden des Dezernats V

Der letzte Abschnitt der Umfrage geht auf persönliche Einstellungen und Werte ein. Mit dieser Frage ist das allgemeine Interesse an einer CO₂-Bilanz des Dezernats erfragt worden. Die erhaltenen Antworten sind in Abbildung 9 aufgeteilt nach der Altersgruppe dargestellt. Die Auswertung dieser Umfrage ergibt, dass vor allem die Mitarbeitenden ab 51 Jahren sich stark bis sehr stark für das Thema CO₂-Bilanz interessieren.

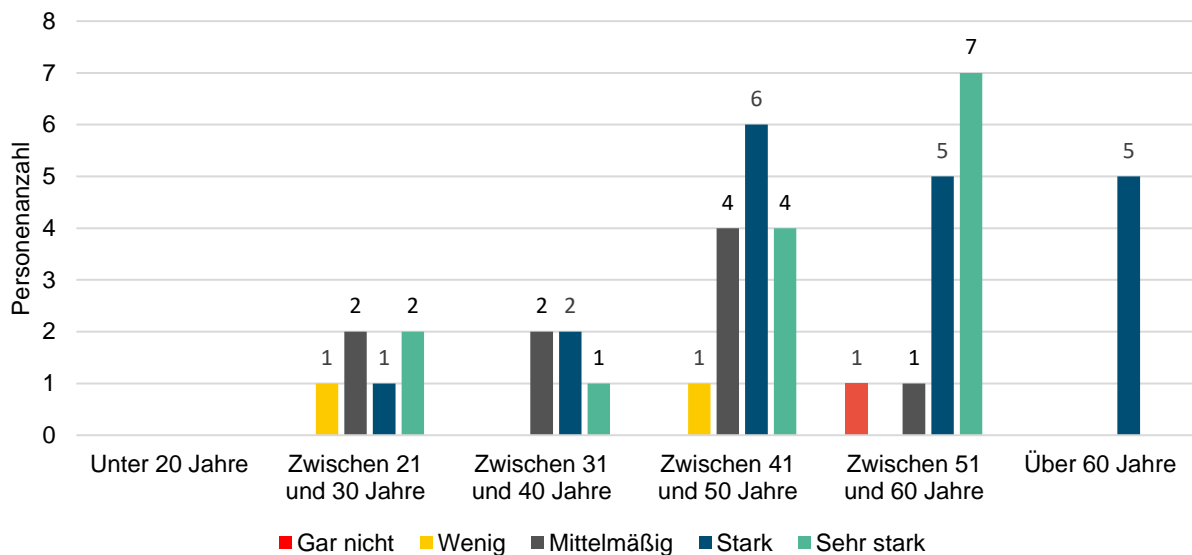


Abbildung 9 - Interesse an einer CO₂-Bilanz des Dezernats V

Die Auswertung der folgenden beiden Abbildungen beschreibt die Bereitschaft, das individuelle Verhalten im Arbeitsalltag und im persönlichen Alltag zu ändern, um die eigenen CO₂-Emissionen zu verringern. Deutlich zu erkennen ist, dass viele Mitarbeitenden laut der Umfrage bereit sind ihr Verhalten zu verändern. Dabei ist es unerheblich, ob diese im privaten Bereich oder im Arbeitsalltag stattfinden. Da der Großteil der Mitarbeitenden bereit ist zumindest in einem gewissen Maßstab Änderungen zu akzeptieren, kann im Weiteren an möglichen Maßnahmen zur individuellen CO₂-Reduktion gearbeitet werden.

In wieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO₂-Emissionen zu verringern?

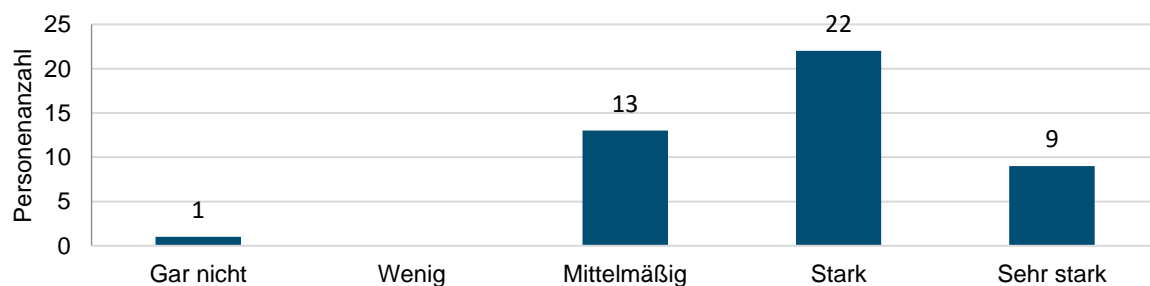


Abbildung 10 - Bereitschaft zur Änderung des Arbeitsalltags

In wieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO₂-Emissionen zu verringern?

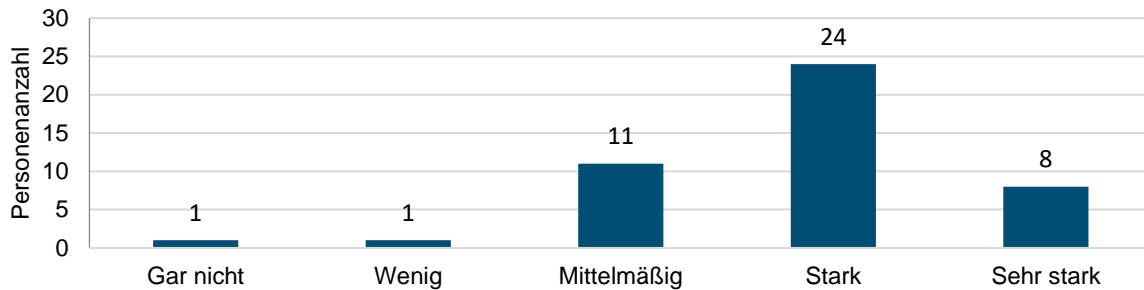


Abbildung 11 - Bereitschaft zur Änderung des persönlichen Alltags

3.3.2 Methodik der Korrelationsanalyse

Im Rahmen der ersten Mitarbeitendenumfrage werden bestimmte Abhängigkeiten von Antworten, sogenannte Korrelationen, erwartet. So wird vor der Umfrage vermutet, dass mit einem jüngeren Alter der Mitarbeitenden tendenziell ein größeres Interesse an der Thematik CO₂-Reduktion einhergeht als bei älteren Mitarbeitenden. Um diese These verifizieren zu können und weitere Korrelationen identifizieren zu können, wird eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Durch die Berechnung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten für jede mögliche Kombination von Fragen können lineare Zusammenhänge erkannt werden.

Die Korrelationsanalyse wurde in Matrix-Form mithilfe von Microsoft Excel erstellt. Bei dieser Korrelationsanalyse wurde für jede mögliche Kombination von zwei Fragen des Fragebogens ein Korrelationskoeffizient erstellt. Die Formel für den Korrelationskoeffizient lautet:

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Die Werte x und y sind die Variablen von zwei Messreihen und \bar{x} sowie \bar{y} die dazugehörigen Mittelwerte. Der Korrelationskoeffizient nimmt dabei Werte zwischen $+1$ und -1 an. Ein Korrelationskoeffizient nahe $+1$ bedeutet eine höhere Korrelation von zwei Fragen. Das heißt, wenn der ersten untersuchten Frage zugestimmt wurde, wird auch tendenziell der zweiten Frage zugestimmt. Ein Korrelationskoeffizient nahe -1 bedeutet eine negative Korrelation von zwei Fragen. Das heißt wenn die erste der untersuchten Fragen bejaht bzw. verneint wurde, so wird die zweite untersuchte Frage tendenziell eher verneint bzw. bejaht. Je näher der Korrelationskoeffizient an 0 liegt, desto schwächer ist die Korrelation. [44]

Die Fragen der ersten Umfrage wurden in einer Matrix der Dimension 33×33 zusammengefasst. Diese ist im Anhang unter C angefügt. Um die Aussagen hinsichtlich der Korrelationskoeffizienten

weiter verifizieren zu können, werden die zentralen Aussagen als eine Regressionsgerade in den folgenden Diagrammen dargestellt. In jedem Diagramm ist die Anzahl der ausgewerteten Antworten n sowie der Korrelationskoeffizient r dargestellt. Außerdem symbolisiert die Größe der blauen Datenpunkte die Anzahl der Mitarbeitenden, welche die entsprechenden Antwortmöglichkeiten gewählt haben. Dadurch findet neben einer analytischen Auswertung durch die Korrelationsmatrix zusätzlich eine grafische Auswertung statt. Bei dieser grafischen Auswertung können Effekte, welche verzerrend auf den Korrelationskoeffizienten wirken, identifiziert werden.

3.3.3 Relevante Korrelationspartner

Das Interesse an der der Thematik CO₂-Einsparung korreliert stark mit der Bereitschaft seinen Arbeitsalltag und seinen persönlichen Alltag zu ändern (vgl. Tabelle 4). Es erscheint als evident, dass mit dem Interesse an der Thematik der CO₂-Einsparung eine grundsätzliche Handlungsbereitschaft zur CO₂-Einsparung einhergeht.

	Wie sehr interessieren Sie sich für die Thematik CO ₂ -Einsparung?	Inwieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	Inwieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?
Wie sehr interessieren Sie sich für die Thematik CO ₂ -Einsparung?	1	0.82	0.80
Inwieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	0.82	1	0.88
Inwieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	0.80	0.88	1

Tabelle 4 - Korrelation Interesse an CO₂-Einsparung zu Alltag ändern

Die ermittelten Datenpunkte zeigen, dass es nur wenig Ausreißer gibt, welche den Korrelationskoeffizient verzerren (vgl. Abbildung 12). Allerdings zeigt sich eine Häufung der Datenpunkte am oberen Ende der Skala. Dies deutet darauf hin, dass in der befragten Gruppe besonders viele Personen vertreten sind, die sich für das Thema CO₂-Einsparung interessieren. Dies schränkt die Variabilität ein, was in der Regel zu einer Senkung der Korrelation führt.

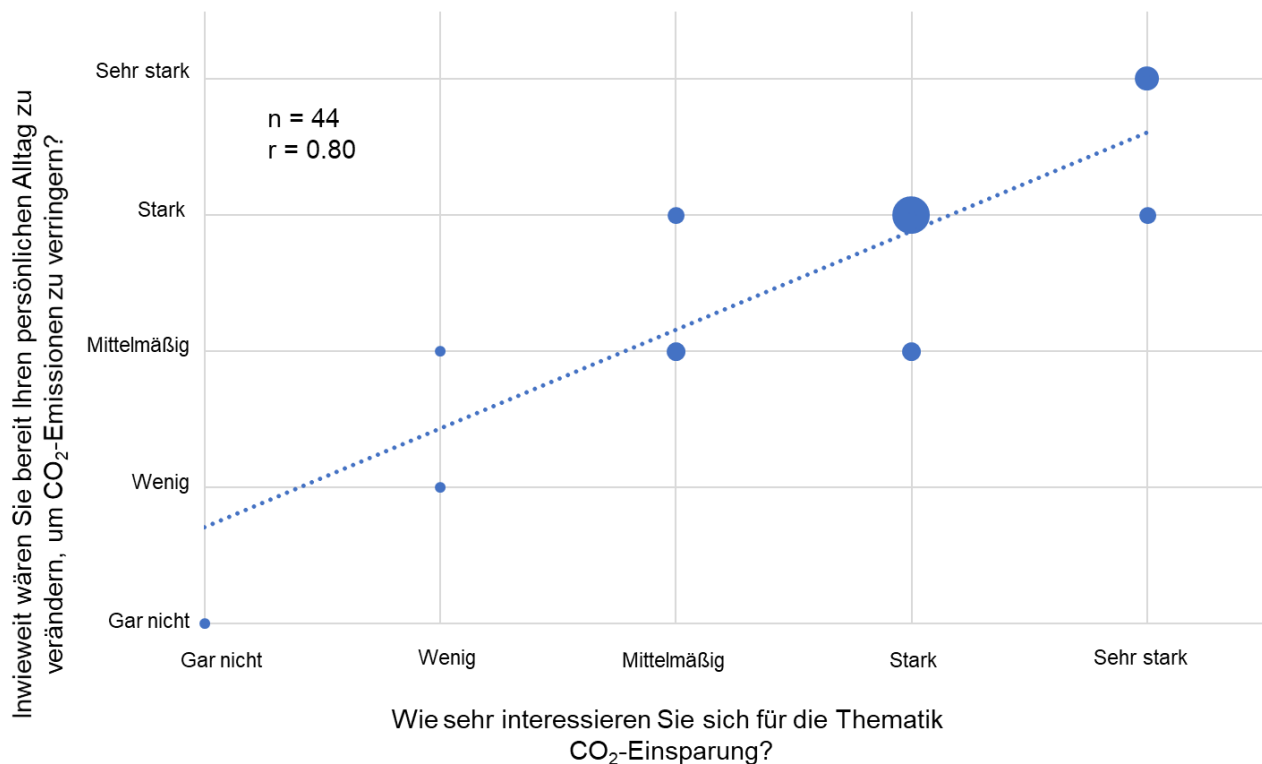


Abbildung 12 - Korrelation Interesse an CO₂-Einsparung zu Alltag ändern

Werden längere Strecken während der Arbeitszeit mit einem Dienstfahrzeug zurückgelegt, so korreliert dies negativ mit dem Interesse an der Thematik CO₂-Einsparung sowie der Bereitschaft seinen Alltag für CO₂-Einsparung zu ändern (vgl. Tabelle 5).

	Wie viele Kilometer legen Sie pro Woche mit dem Dienstfahrzeug zurück?
Wie sehr interessieren Sie sich für die Thematik CO ₂ -Einsparung	-0.59
Inwieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	-0.53
Inwieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	-0.52

Tabelle 5 - Korrelation Strecke Dienstfahrzeug

Bei der Betrachtung der Regressionsgerade fällt auf, dass es einen Ausreißer nach unten gibt (vgl. Abbildung 13). Die tatsächliche Korrelation wäre in diesem Fall etwas schwächer. Auch fällt hier eine

Häufung an Datenpunkten am oberen Ende der Skala auf. Es sind besonders viele der befragten Personen am Thema CO₂-Einsparung interessiert. Dies schränkt die Variabilität ein, was zusätzlich zu einer Senkung der Korrelation führt.

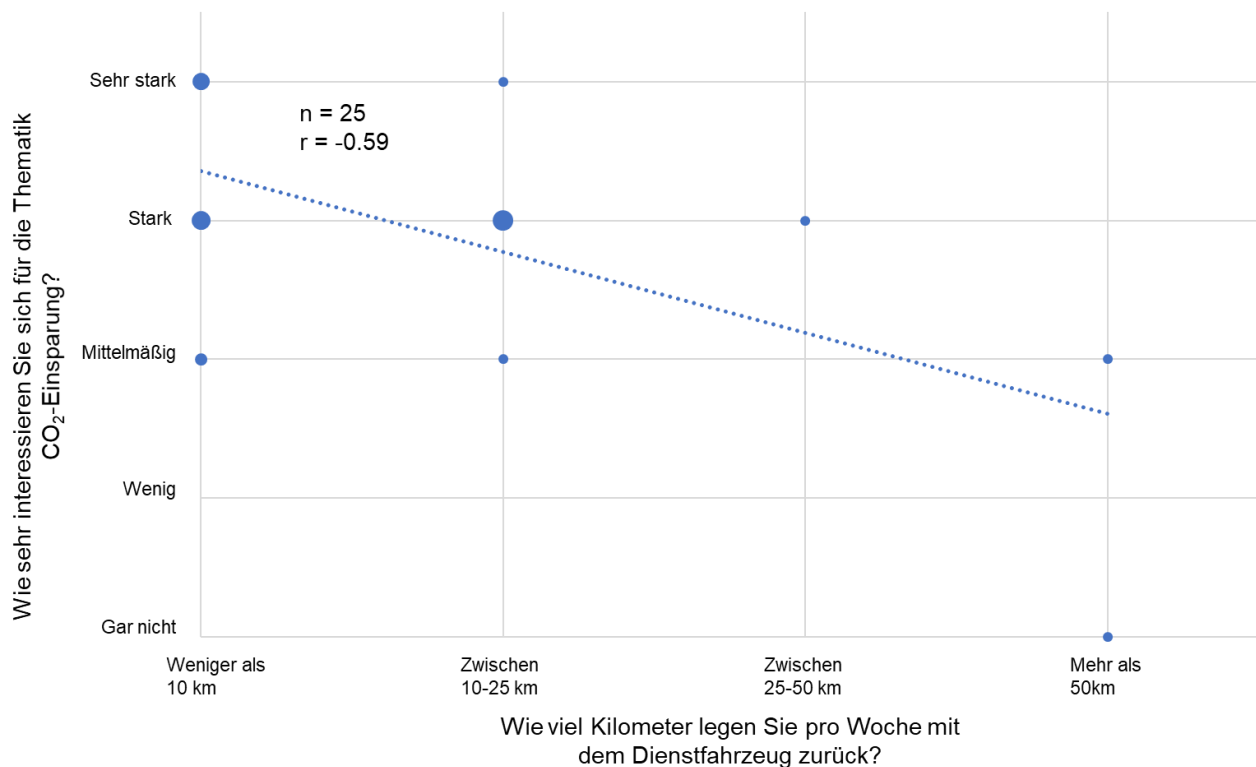


Abbildung 13 - Korrelation Strecke Dienstfahrzeug zu Interesse CO₂-Einsparung

Entgegen den Erwartungen lässt sich nur eine schwache Korrelation zwischen dem Alter der Mitarbeitenden und dem Interesse an der Thematik CO₂-Einsparung sowie der Bereitschaft für CO₂-Einsparung seinen Alltag zu ändern erkennen (vgl. Tabelle 6).

	Wie sehr interessieren Sie sich für die Thematik CO ₂ -Einsparung?	Inwieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?	Inwieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO ₂ -Emissionen zu verringern?
Welcher Altersgruppe gehören Sie an?	0.14	0.12	0.14

Tabelle 6 - Korrelation Altersgruppe

Das Diagramm der Regressionsgerade zeigt weit verstreute Datenpunkte, aus denen keine eindeutige Korrelation erkennbar ist (vgl. Abbildung 14).

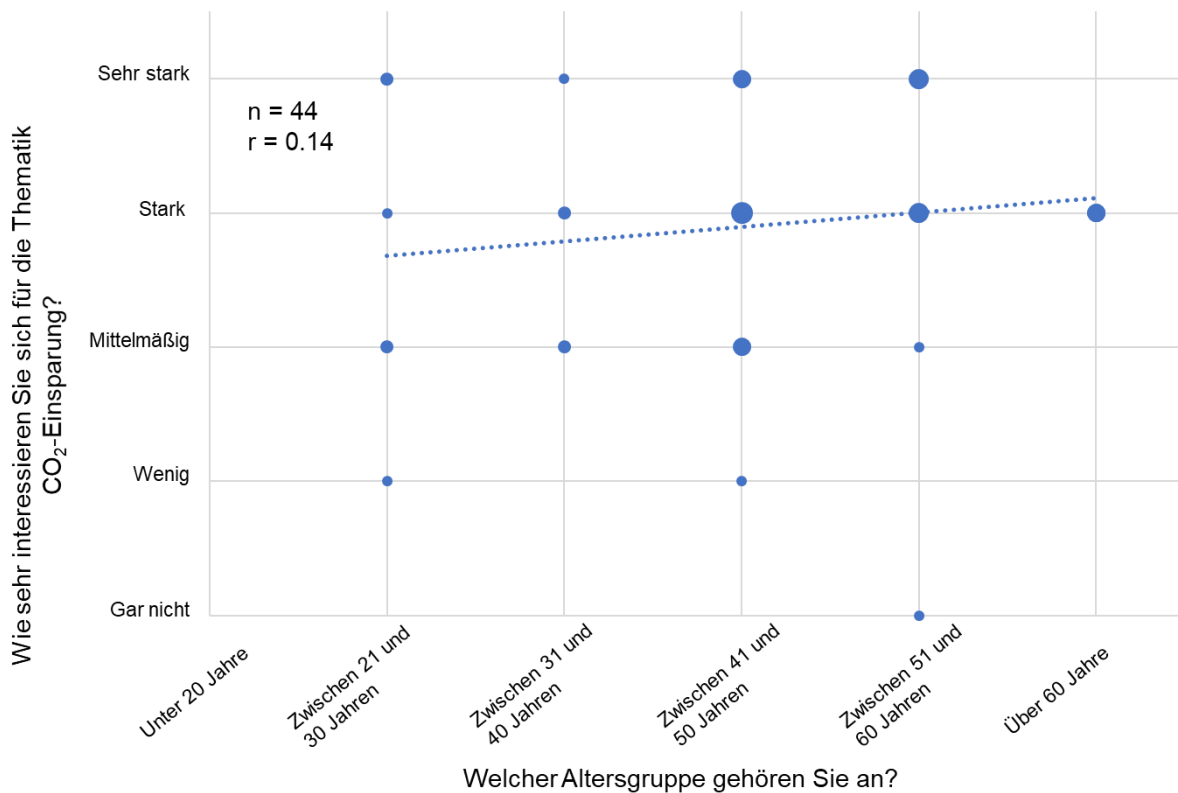


Abbildung 14 - Korrelation Interesse CO₂-Einsparung zu Altersgruppe

3.3.4 Interpretation der Ergebnisse aus Umfrage und Korrelationsanalyse

Im Zuge der Auswertung mittels der Korrelationsmatrix sind auch Schwierigkeiten aufgetreten. Grundsätzlich sollte bei jedem Korrelationswert die Frage gestellt werden, durch welche Antwortlogik dieser zu Stande kommt. Bestimmte Folgefragen, welche nur angezeigt werden, wenn die vorherige Frage bejaht wurde, sorgen für eine verfälschte Korrelation. Als Beispiel ist hier die Frage des digitalen Treffens als gleichwertige Alternative zu einer Dienstreise aufgeführt, welche nur gestellt wird, wenn die Frage nach einer getätigten Dienstreise bejaht wurde. Als Folge dessen kam es zu einer unerwartet hohen negativen Korrelation zwischen diesen beiden Fragen (vgl. Tabelle 7).

	Haben Sie im Jahr 2019 eine Dienstreise getätigt?	Wäre ein digitales Treffen eine gleichwertige Alternative zu Ihren Dienstreisen?
Haben Sie im Jahr 2019 eine Dienstreise getätigt?	1	-0.99
Wäre ein digitales Treffen eine gleichwertige Alternative zu Ihren Dienstreisen?	-0.99	1

Tabelle 7 - Korrelation Dienstreise

Zu beachten ist außerdem, dass bei der Auswertung der Umfrage jeder Antwortmöglichkeit eine Zahl zugeordnet wird. Um bei einer Korrelationsanalyse dennoch Rückschlüsse auf die eigentlichen Antworten ziehen zu können, sollte bei Fragen, bei denen mehrere Antwortmöglichkeiten zur Auswahl stehen, diese in einer bestimmten Reihenfolge stehen. Diese Reihenfolge sollte sich dabei nach dem zu untersuchenden Aspekt richten. In diesem Fall wäre das die Klimafreundlichkeit der Antwortmöglichkeiten. Als Beispiel ist hier die Frage nach der Art der Dienstfahrzeuge zu nennen. Eine auswertungsgerechte Reihenfolge der Antwortmöglichkeiten würde lauten:

- Fahrrad
- Lastenrad
- PKW mit Elektromotor
- Transporter mit Elektromotor
- PKW mit Verbrennungsmotor
- Transporter mit Verbrennungsmotor

Allerdings gibt es auch Fragen, bei denen eine solche Reihenfolge nicht eindeutig festlegbar ist. Dies ist beispielsweise bei der Frage, woher das Mittagessen bezogen wird, der Fall. Hier bietet es sich an, die Antwortmöglichkeiten auf mehrere Fragen zu verteilen. In dem vorangestellten Beispiel könnte dies so lauten:

- Wie oft beziehen Sie Ihr Mittagessen aus der Mensa?
- Wie oft holen Sie Ihr Mittagessen von einem Imbiss?
- Wie oft bringen Sie Ihr Mittagessen von zu Hause mit?

Eine solche Aufteilung der Fragen ermöglicht eine bessere Korrelationsanalyse der Ergebnisse, erhöht allerdings auch den zeitlichen Umfang der Umfrage.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Umfrage einen Einblick in die Arbeitsweise der Mitarbeitenden am Dezernat V geschaffen hat. Die durchgeführte Korrelationsanalyse ist sinnvoll, um gewonnene Daten methodisch auswerten zu können und stellt einen zusätzlichen Schritt zur Auswertung anhand von Grafiken dar. Bei der Erstellung eines Fragebogens muss allerdings von vorneherein beachtet werden, dass eine Korrelationsanalyse durchgeführt werden soll. Sie ist ein geeignetes Instrument, um Tendenzen im Abstimmungsverhalten der Befragten zu erkennen und daraus Rückschlüsse auf die dahinterstehende Personengruppe zu ziehen.

Es lässt sich sagen, dass in den Antworten überproportional viele Büroangestellte vom Dezernat V vertreten sind. Dies liegt vermutlich daran, dass die Umfrage auf elektronischem Weg durchgeführt wurde, und Mitarbeitende aus der Werkstatt seltener auf diesem Weg erreichbar sind. Um ein repräsentativeres Bild erzielen zu können, müsste diese Personengruppe besser erreicht werden, beispielsweise durch persönliche Befragungen. Dies war durch die Corona-Pandemie nicht möglich. Dahingegen hat sich die Annahme, dass das Interesse an der Thematik CO₂-Emissionen eine Frage des Alters der Mitarbeitenden ist, als nicht haltbar erwiesen. Auch die vielen individuellen Antworten für Verbesserungsvorschläge haben die Erwartungen übertroffen.

3.4 Emissionen durch Gebäudeversorgung

Ein besonderes Augenmerk bei der CO₂-Bilanzierung des Dezernats V liegt auf der Bilanzierung der Emissionen, welche durch die Nutzung von Strom und Wärme entstehen. Um die Emissionen durch die Strom- und Wärmeerzeugung bestimmen zu können, müssen zwei Größen betrachtet werden: Zum einen sind dies die dezernatsseitigen Verbräuche an Strom und Wärme und zum anderen die spezifischen Emissionen, die bei der Erzeugung von Strom und Wärme emittiert werden. Auf diese Größen soll in den folgenden beiden Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 eingegangen werden.

3.4.1 Bestimmung der Emissionsfaktoren von Strom und Wärme

Für eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen des Dezernats V muss ermittelt werden, wie viel CO₂-Äquivalent pro erzeugter Energieeinheit emittiert wird. Die Einheit lautet t CO₂/kWh. Die Höhe dieser Emissionsfaktoren hängt maßgeblich von der Art der Strom- und Wärmeerzeugung ab. Durch den Einsatz regenerativer Energiequellen sowie einem hohen Wirkungsgrad der Anlage werden geringe Mengen CO₂ eq pro erzeugter Megawattstunde Energie emittiert (geringer Emissionsfaktor), wohingegen der Einsatz fossiler Energiequellen sowie ein geringer Wirkungsgrad der Anlage einen hohen Emissionsfaktor zur Folge haben.

Die Ermittlung der CO₂-Emissionsfaktoren in dieser Berechnung stützt sich auf die Werte vorangegangener Arbeiten bzw. Werte aus der Literatur. Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Emissionsfaktoren von Strom und Wärme eingegangen.

Das Darmstädter Fernwärmenetz versorgt die Gebäude der TU Darmstadt sowie weitere Gebäude in Darmstadt, wie z.B. das Jugendstilbad mit Heißwasser. Gespeist wird das Fernwärmenetz von vier BHKWs und sechs Heizkesseln im Kraftwerk an der Lichtwiese sowie vom Müllheizkraftwerk (MHKW) in Darmstadt Nord (vgl. Abbildung 15) [43]. Um die spezifischen Emissionen näher bestimmen zu können, muss zunächst ermittelt werden, durch welches Verfahren die eingespeiste Wärme erzeugt wird.

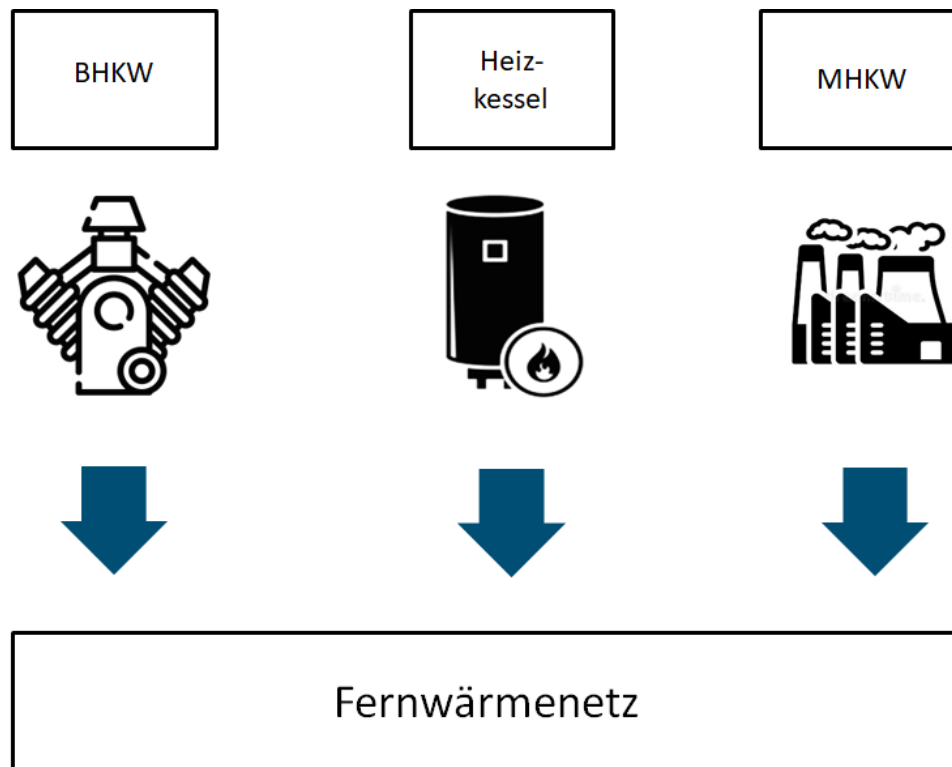


Abbildung 15 - Fernwärmenetz Darmstadt

Die BHKWs sind als Gasmotoren ausgeführt und treiben durch die Verbrennung von Erdgas Generatoren zur Stromerzeugung an. Die dabei entstehende Abwärme wird in das Fernwärmenetz eingespeist. Die Ermittlung der Emissionsfaktoren für Wärme und Strom, welche aus den BHKWs stammen, wurde bereits durch die interdisziplinäre Projektarbeit EnEff: Stadt Campus Lichtwiese vorgenommen. Diese hat das Ziel, den Campus Lichtwiese mit seiner energietechnischen Infrastruktur bis 2050 energieeffizienter zu gestalten [45]. Der Emissionsfaktor für erzeugte Wärme durch die BHKWs wurde in der Projektarbeit EnEff: Stadt Campus nach der Berechnungsmethode AGFW FW 309 Teil 6 über das Carnot-/Stromverlustverfahren (Exergiemethode) ermittelt [46].

$$\text{Wärmeemissionsfaktor BHKW: } 0.18 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (2)$$

Zum anderen hat das Kraftwerk sechs Heizkessel. Diese stellen durch das Verbrennen von Erdgas zusätzliche Wärme bereit, insofern diese benötigt wird. Der Emissionsfaktor für einen Gaskessel, in einer Größenordnung für Industrieanwendungen, lässt sich der Literatur entnehmen [47].

$$\text{Emissionsfaktor Gaskessel: } 0.234 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (3)$$

Als dritter Wärmeproduzent ist das MHKW in Darmstadt Nord zu nennen. Dieses wurde erst im Oktober 2018 mit dem Fernwärmenetz des Kraftwerks an der Lichtwiese gekoppelt [48]. Der Emissionsfaktor, welchen das Energiemanagement am Dezernat V vom Energieversorger erhalten hat, lässt sich aus dem Bericht der CO₂-Bilanz 2018 der hessischen Hochschulen entnehmen [49].

$$\text{Emissionsfaktor MHKW: } 0.025 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (4)$$

Auffällig ist hierbei der vergleichsweise geringe Emissionsfaktor. Dieser rührt daher, dass in dem MHKW überwiegend Verpackungsabfälle verbrannt werden, welche schon bei der Produktion mit einem Emissionsfaktor beaufschlagt wurden. Daher wird die Verbrennung dieses Abfalls als annähernd CO₂-neutral betrachtet. [50]

Die BHKWs, die Gaskessel und das MHKW speisen unterschiedlich viel Wärme ein [51]. Durch eine der Einspeisemenge entsprechende Gewichtung lässt sich ein Gesamtemissionsfaktor bestimmen (vgl. Anhang A.2 Emissionsberechnung Wärme).

$$\text{Gesamtemissionsfaktor Wärme: } 0.141 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (5)$$

Zur Bestimmung von Emissionsfaktoren bei der Stromerzeugung wird zunächst das BHKW betrachtet. Durch das Verbrennen von Erdgas treiben die BHKWs im Kraftwerk Lichtwiese Generatoren an, welche Strom erzeugen. Der Emissionsfaktor des dadurch erzeugten Stroms wird analog zum Wärmeemissionsfaktor nach der Berechnungsmethode AGFW FW 309 Teil 6 bestimmt.

$$\text{Emissionsfaktor Strom BHKW: } 0.37 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (6)$$

Die TU Darmstadt kann mit dem erzeugten Strom aus den BHKWs 80 % ihres eigenen Strombedarfs decken. Die restlichen 20 % werden durch den Zukauf von Ökostrom abgedeckt [43]. Die unmittelbare Erzeugung von Ökostrom ist zwar emissionsfrei, jedoch fallen mittelbar Emissionen an [49]. Somit hat auch Ökostrom einen, wenn auch kleinen, Emissionsfaktor.

$$\text{Emissionsfaktor Ökostrom: } 0.039 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (7)$$

Darüber hinaus wird für das Gebäude S3/20 zusätzlich Fremdstrom bezogen. Der dazugehörige Emissionsfaktor kann aus der vorliegenden Stromrechnung abgelesen werden [52].

$$\text{Emissionsfaktor enercity: } 0.081 \frac{\text{t CO}_2 \text{ eq}}{\text{MWh}} \quad (8)$$

Weitere Informationen bezüglich der Anschlussstruktur sind im nachfolgenden Kapitel 3.4.2 aufgeführt.

3.4.2 Dezernatsseitige Verbräuche

Das Dezernat V bezieht seine Wärmeenergie zum Heizen sowie seinen Strom aus unterschiedlichen Quellen. Einen Überblick über die Versorgungsstruktur der Gebäude des Dezernats V gibt Tabelle 8.

Gebäude	Strom	Wärme
S3/20	separater Stromvertrag bei externen Energieversorger	Fernwärmenetz Darmstadt
S3/07	80 % Eigenerzeugung aus BHKW 20 % Ökostrom durch Zukauf	Fernwärmenetz Darmstadt
L3/02	80 % Eigenerzeugung aus BHKW 20 % Ökostrom durch Zukauf	kein Wärmeanschluss Heizen mit Strom

Tabelle 8 - Anschlussstruktur der Gebäude des Dezernats V

Der Verbrauch an Wärme und Strom wird in jedem Gebäude separat über Zähler ausgewertet, welche in der Regel mit einer Datenbank verknüpft sind. Diese Datenbank lässt sich über das Energiemanagementsystem (EMS) auslesen.

Das Verwaltungsgebäude S3/20 ist an das Darmstädter Fernwärmenetz angeschlossen und wird durch dieses beheizt. An dem Gebäude befindet sich ein Wärmestromzähler. Der Verbrauch wird monatlich bestimmt. Den Strom bezieht das Verwaltungsgebäude über einen separaten Stromvertrag. Anhand der jährlichen Abrechnung kann der Verbrauch des gesamten Gebäudes bestimmt werden. Da nur die Etagen drei und vier dem Dezernat V zugehörig sind, wird aus dem gesamten Stromverbrauch des Gebäudes ein durchschnittlicher Stromverbrauch pro Etage bestimmt und dieser Wert für die weiteren Rechnungen genutzt (vgl. A.1 Emissionsberechnung Strom). [52]

Das Werkstattgebäude S3/07 ist an das Darmstädter Fernwärmenetz angeschlossen und wird durch dieses beheizt. An diesem Gebäude befindet sich ein Wärmestromzähler. Der Verbrauch wird monatlich bestimmt. Der Strom stammt zu 80 % aus den BHKWs an der Lichtwiese, die restlichen 20 % werden als Ökostrom zugekauft. Das Ablesen des Stromverbrauchs erfolgt manuell, allerdings erfolgt zeitnah eine Umstellung auf digitale Zähler, die mit dem EMS-System kommunizieren [53].

Das Solarhaus L3/02 besitzt keinen Wärmeanschluss. Es wurde als Solarhaus entwickelt und gebaut, welches durch selbst erzeugten Solarstrom Wärme genießen sollte. Da die Solarpanels nicht angeschlossen sind, bezieht das Haus seinen Strom von außen. Dieser stammt zu 80 % aus den BHKWs an der Lichtwiese, die restlichen 20 % werden als Ökostrom zugekauft [43]. Über den vorliegenden spezifischen Stromverbrauch [45] und der gegebenen Größe von 58 m² [54] kann der jährliche Stromverbrauch auf 4.6 MWh abgeschätzt werden.

3.5 Weitere Emittenten am Dezernat V

Aufgrund der Corona-Pandemie und dem damit verbundenen mobilen Arbeiten für viele Mitarbeitenden konnten viele Daten nicht zeitnah ermittelt werden. Daher werden diese im Folgenden abgeschätzt und dabei jeweils ein Minimal-, Maximal- und Durchschnittswert angegeben.

Die Abschätzung der Daten basiert dabei soweit möglich auf den Ergebnissen der Umfrage Arbeitsweise im Dezernat V. Insofern Daten aus der Umfrage vorliegen, wurde zur Berechnung der Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte die Standardabweichung σ genutzt. Die Formel zur Berechnung lautet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9)$$

x_i ist dabei der i-te Messwert, \bar{x} ist der Mittelwert und n die Anzahl der Messwerte [55]. Insofern keine Daten aus der Umfrage vorliegen, werden die benötigten Werte mithilfe von verschiedenen Quellen, Abschätzungen von Mitarbeitenden des Dezernats V oder aus der eigenen Erfahrung ermittelt. Zur Bestimmung der Arbeitszeit pro Jahr werden verschiedene Daten genutzt. Im Jahr 2019 gab es 251 Arbeitstage. Im Schnitt war ein Mitarbeitender 11 Tage im Jahr krank und hat zudem einen Anspruch von 24 Tagen Urlaub. Somit ergibt sich eine Arbeitszeit von 216 Arbeitstagen pro Mitarbeitenden. [56, 57]

3.5.1 Pendelweg der Mitarbeitenden des Dezernats V

Die Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V liefert die Möglichkeit über eine Schätzung des Pendelweges der Mitarbeitenden des Dezernats V. Neben der Pendelstrecke (einfacher Weg) können die Mitarbeitenden auch die dazu genutzten Verkehrsmittel angeben. Die Aufteilung der 45 Teilnehmenden ist in der Spalte Anzahl der Nutzenden laut Umfrage aus Tabelle 9 ersichtlich. Bei einer prozentualen Hochrechnung und unter Berücksichtigung der Gesamtzahl aller Mitarbeitenden des Dezernats ergibt sich die Spalte Anzahl der Nutzenden nach Hochrechnung für das ganze Dezernat V. In der Spalte Durchschnitt des Pendelwegs pro Tag ist der Durchschnitt für die jeweiligen Kategorien aufgeführt. Aufgrund der kleinen Datenmenge eignet sich die reine Durchschnittsbetrachtung des Pendelwegs im CO₂-Rechner nur bedingt. Daher wird in der Spalte Streubreite ein Intervall angegeben, in welchem die Standardabweichung enthalten ist.

Genutztes Verkehrsmittel	Anzahl der Nutzenden laut Umfrage	Anzahl der Nutzenden nach Hochrechnung für das ganze Dezernat V	Durchschnitt des Pendelwegs pro Tag (einfacher Weg) [km]	Errechnete Standardabweichung [km]	Streubreite [km]
Zu Fuß	2	5	1.65		
Fahrrad	20	49	4.45	4.37	0.08 – 8.82
E-Bike	3	7	10.83	4.48	6.35 -15.31
Bus	4	10	14.25	3.43	10.82 – 17.68
Mix aus öffentlichen Verkehrsmitteln	3	7	19	10.42	8.58 – 29.42
Auto	13	32	23.58	17.67	5.91– 41.25

Tabelle 9 - Hochrechnung des Pendelwegs

Unter der Annahme, dass jeder Mitarbeitende 216 Arbeitstage im Jahr 2019 gependelt ist, wird durch folgende Gleichung die gesamte Pendelstrecke des Jahres 2019 berechnet:

$$\text{Arbeitstage im Jahr 2019} \cdot 2 \cdot \text{Anzahl der Personen} \cdot \text{Pendelweg} = \text{Pendelstrecke} \quad (10)$$

Da in Tabelle 9 die Streubreite für die einzelnen Kategorien angegeben ist, lassen sich drei Werte für die gesamte Pendelstrecke errechnen:

- Minimale Pendelstrecke
- Durchschnittliche Pendelstrecke
- Maximale Pendelstrecke

Diese sind in Tabelle 10 zu finden. Hier wird die Kategorie Zu Fuß nicht weiter betrachtet, da hierbei keine CO₂-Emissionen entstehen und diese somit irrelevant für den CO₂-Rechner sind.

Genutztes Verkehrsmittel	Minimale Pendelstrecke im Jahr 2019 [Pkm]	Durchschnittliche Pendelstrecke im Jahr 2019 [Pkm]	Maximale Pendelstrecke im Jahr 2019 [Pkm]
Fahrrad	1,694	94,198	186,702
E-Bike	19,202	32,750	46,298
Bus	46,742	61,560	76,378
Mix aus öffentlichen Verkehrsmitteln	25,946	57,456	88,966
Auto	81,699	325,970	570,240

Tabelle 10 - Pendelstrecken für das Jahr 2019

3.5.2 Wege der Mitarbeitenden des Dezernats V während der Arbeitszeit

Die exakte Strecke, welche mit Dienstfahrzeugen zurückgelegt wird, ist nicht bekannt und wird daher anhand der Daten aus der Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V abgeschätzt. Die Werte zur zurückgelegten Strecke pro Woche wurden in der Umfrage mit Spannen angegeben. Zur Berechnung werden diesen Spannen nun feste Werte zugeordnet, welche Tabelle 11 zu entnehmen sind.

zurückgelegte Strecke pro Woche [Pkm]	Fahrrad [Stk.]	PKW mit Verbrennungsmotor	PKW mit Elektromotor	Transporter mit Elektromotor
5	10	1	2	0
17.5	4	3	2	0
38	0	1	0	0
60	0	1	0	1

Tabelle 11 - Hochrechnung der Dienststrecken

Da lediglich Umfragedaten von 45 Mitarbeitenden des Dezernats V vorliegen, müssen diese Werte noch auf 110 Mitarbeitende hochgerechnet werden. Anschließend wird für jedes Verkehrsmittel mithilfe der Standardabweichung eine minimale, mittlere und maximale Strecke ermittelt, die pro Jahr mit diesem zurückgelegt wird. Die resultierenden Ergebnisse sind Tabelle 12 zu entnehmen und können in dieser Form in den CO₂-Rechner übernommen werden.

	Minimale Strecke pro Jahr [Pkm]	Durchschnittliche Strecke pro Jahr [Pkm]	Maximale Strecke pro Jahr [Pkm]
Fahrrad	4,289	12,588	20,886
PKW mit Verbrennungsmotor	5,093	16,796	28,499
PKW mit Elektromotor	2,160	4,860	7,560
Transporter mit Elektromotor	2,592	2,592	2,592

Tabelle 12 - Gesamte Dienststrecken im Jahr 2019

3.5.3 Dienstreisen der Mitarbeitenden des Dezernats V

Für die Dienstreisen fehlen konkrete Werte zu der Anzahl an getätigten Dienstreisen, dem verwendeten Transportmittel und der zurückgelegten Distanz pro Dienstreise. Die nachfolgende Abschätzung basiert auf der Umfrage Arbeitsweise im Dezernat V und Schätzungen von Frau Einsiedler aus dem Dezernat V. Angenommen werden 20 getätigte Dienstreisen im Kalenderjahr 2019. Als Fahrzeug wird im Folgenden bei 80 % der getätigten Dienstreisen eine Fahrt mit der Bahn angenommen. Die verbleibenden 20 % der Dienstreisen werden mit dem Auto getätigt. Im Folgenden wird die zurückgelegte Strecke pro Dienstreise abgeschätzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass sämtliche Dienstreisen innerdeutsch getätigt werden [58]. Da keine weiterführenden Informationen über die zurückgelegten Strecken bekannt sind, werden drei Entfernungen angenommen. Diese sind der Tabelle 13 zu entnehmen.

Streckentyp	Beispielstrecke	Strecke der Dienstreise [km]
Kurze Strecke	Darmstadt - Frankfurt	28
Mittlere Strecke	Darmstadt - München	350
Lange Strecke	Darmstadt - Flensburg	650

Tabelle 13 - Schätzung der Strecke der Dienstreisen

Mithilfe der abgeschätzten Strecken ist es möglich einen Minimal-, Maximal- und Durchschnittswert für die Emissionen durch Dienstreisen zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass bei jeder Dienstreise Hin- und Rückweg betrachtet werden müssen.

Die Rechnung lautet somit:

$$\text{Strecke der Dienstreise} \cdot 2 \cdot 20 \text{ Personen} = \text{Gesamtstrecke im Jahr 2019} \quad (11)$$

Die Gesamtstrecke für das Jahr 2019 muss anschließend noch auf die beiden Verkehrsmittel aufgeteilt werden. Dabei entfallen 80 % der Gesamtstrecke auf die Bahnreisen und 20 % auf die Autoreisen. Die jeweiligen Anteile sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Streckentyp	Gesamtstrecke im Jahr 2019 [Pkm]	Anteil von Bahnreisen [Pkm]	Anteil von Autoreisen [Pkm]
Kurze Strecken	1,120	896	224
Mittlere Strecken	14,000	11,200	2,800
Lange Strecken	27,000	21,760	5,440

Tabelle 14 - Gesamtstrecke der Dienstreisen im Jahr 2019

3.5.4 Papierverbrauch der Mitarbeitenden des Dezernats V

Der Papierverbrauch unterteilt sich in die Nutzung von Toilettenpapier, Hygienepapier zum Händetrocknen und Druckerpapier.

Pro Jahr liegt der durchschnittliche Verbrauch einer Person von Toilettenpapier in Deutschland bei 15 kg [59]. Angenommen wird, dass ein Mensch 15 Stunden am Tag wach ist und an 216 Tagen im Jahr für je acht Stunden arbeitet. Daraus ergibt sich die Annahme, dass dieser Mensch 31.56 % seiner Zeit, in der er nicht schläft, auf der Arbeit verbringt. Dementsprechend entfallen 4.73 kg des verbrauchten Toilettenpapiers pro Person auf die Arbeitszeit. Auf das Dezernat V übertragen, ergibt dies einen Gesamtverbrauch von 520.74 kg Toilettenpapier pro Jahr.

Aufgrund der mangelnden Datenlage wird die Schätzung des verbrauchten Hygienepapiers, auf der Grundlage von eigenen Erfahrungswerten durchgeführt. Dabei werden drei Toilettengänge pro Arbeitstag angenommen, wobei bei jedem Abtrocknen drei Blätter Hygienepapier verbraucht werden. Somit verbrauchen die Mitarbeitenden des Dezernates V 213,840 Blätter Hygienepapier pro Jahr.

Ausgehend davon, dass ein Blatt Hygienepapier 1.05 g wiegt, beträgt der Gesamtverbrauch des Dezernats V für ein Jahr 2019 insgesamt 224.53 kg [60].

Die verbrauchte Menge an Papier, welches zum Drucken und Schreiben genutzt wird, lässt sich aus der Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V abschätzen. Von den 45 Teilnehmenden, geben 5 Personen an mehr als 50 Blätter pro Woche, 19 Personen geben an zwischen 20 bis 50 Blätter pro Woche, 14 Personen nutzen weniger als 20 Blätter und 7 Personen haben zu ihrem Papierverbrauch keine Angaben gemacht. In der Rechnung finden die nicht ausgefüllten Umfragewerte keine Beachtung. Angenommen wird nun, dass 13.16 % der Personen 60 DIN-A4-Blätter pro Woche verbrauchen, 50 % der Personen 35 DIN-A4-Blätter verbrauchen und 36.84 % der Personen 10 DIN-A4-Blätter nutzen (vgl. Tabelle 15).

Anzahl der genutzten Blätter pro Woche [Stk.]	Anteil der Mitarbeitenden
10	36.84 %
35	50.00 %
60	13.16 %

Tabelle 15 - Hochrechnung des Papierverbrauchs

Als Mittelwert ergibt sich somit $\bar{x} = 29.08$ Blätter. Die Standardabweichung ergibt sich somit zu $\sigma = 16.66$ Blättern. Diese Werte werden mit 43.2 Arbeitswochen und 110 Mitarbeitenden multipliziert und für das Dezernat V auf den Verbrauch für ein Jahr hochgerechnet. Die Ergebnisse können Tabelle 16 entnommen werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein DIN-A4-Blatt 5 g wiegt [61].

Jahresverbrauch	Papierverbrauch pro Jahr [Stk.]	Papierverbrauch pro Jahr [kg]
Minimal	59,019	295
Durchschnittlich	138,188	691
Maximal	217,356	1,087

Tabelle 16 - Gesamtverbrauch des Papiers im Jahr 2019

3.5.5 Einkauf von IT-Geräten des Dezernats V

Im Folgenden werden die Einkäufe von IT- Geräten am Dezernat V im Laufe des Jahres 2019 genauer analysiert. Da es zu der Anzahl der aktuell in Betrieb verwendeten Geräte keine Angaben gibt, wurden diese unter Verwendung von folgenden Annahmen geschätzt.

In einem ersten Schritt wird die Lebensdauer der verschiedenen Gerätetypen tabellarisch dargestellt. Es wird zwischen maximaler, durchschnittlicher und minimaler Lebensdauer unterschieden (vgl. Tabelle 17).

IT - Geräte	Lebensdauer in Jahren		
	Maximal	Durchschnitt	Minimal
Bildschirme [62]	7	6	5
Desktop PC [62]	5	4	3
Handy [63]	3	2.5	2
Drucker [62]	7	6	5
Notebooks [64]	5	4	3
Beamer [65]	8	7	6
Server [62]	5	4	3
Multifunktions- geräte [66]	75,000 Seiten oder 5 Jahre	60,000 Seiten oder 4 Jahre	45,000 Seiten oder 3 Jahre
Tintenpatronen [67]	9,450 Seiten	9,000 Seiten	8,550 Seiten

Tabelle 17 - Schätzung der Lebensdauer von IT-Geräte

Der jährliche Einkauf der verschiedenen IT-Geräte berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$\frac{\text{Gesamtanzahl der Geräte}}{\text{Lebensdauer der Geräte}} = \text{Einkauf pro Jahr} \quad (12)$$

Bei der Berechnung ist zu beachten, dass der minimale Einkauf eintritt, wenn die Lebensdauer maximal ist. Im Gegensatz dazu ist der Einkauf maximal, wenn die Lebensdauer minimal ist. Diese Berechnung wurde für jeden Typ an Geräten durchgeführt und jeweils für die maximale, minimale und durchschnittlich Lebensdauer berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen sowie die Schätzungen der Anzahl der einzelnen Geräte am Dezernat V sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Da bei den Einkäufen dezimale Zahlen entstehen, werden diese nach oben aufgerundet und für die Berechnung der Emissionen verwendet. Das Dezernat V hat 110 Mitarbeitende, wovon 66 in Büros und 44 in der Werkstatt tätig sind. Für die Schätzung der Anzahl der Geräte am Dezernat V werden folgende Annahmen getroffen:

- 10 Azubis ohne eigenen Computerarbeitsplatz in der Werkstatt
- 10 Mitarbeitenden mit je einem Diensthandy und Laptop
- 34 Werkstattmitarbeitende mit Diensthandy

- 5 Beamer (2 im Gebäude S3/07 und 3 im Gebäude S3/20)
- 10 Multifunktionsgeräte

Um die Anzahl der einkauften Tonerpatronen zu berechnen, wird auf die berechnete Anzahl der im Durchschnitt verwendeten Menge an Papierblättern am Dezernat im Kapitel 3.5.4 zurückgegriffen. Die Anzahl der Tonerpatronen wird wie folgt bestimmt:

$$\frac{138,188 \text{ Seiten}}{\frac{\text{Anzahl Seiten}}{\text{Toner}} \cdot 4 \text{ Toner}} = \text{Anzahl der gekauften Tonerpatronen} \quad (13)$$

Die abgeschätzte Menge an eingekauften IT-Geräten für das Jahr 2019 kann Tabelle 18 entnommen werden.

	Anzahl der Geräte am Dezernat V (geschätzt)	Minimal eingekaufte Menge im Jahr 2019	Durchschnittlich eingekaufte Menge im Jahr 2019	Maximal eingekaufte Menge im Jahr 2019
Bildschirme	200	29	34	40
Desktop PC	100	20	25	34
Handy	44	15	18	22
Notebook	10	2	3	4
Beamer	5	1	1	1
Server *	1	0	0	0
Multifunktions- geräte	10	2	3	4
Tintenpatronen (4 pro Geräte)	40	4	4	4
*Das Dezernat V bezieht keinen eigenen Server, sondern verwendet den Server der TU Darmstadt. Es fallen daher unter der Kategorie Server keine Einkäufe an.				

Tabelle 18 - Gesamteinkauf von IT-Geräten im Jahr 2019

3.6 Gesamtbilanz der CO₂-Emissionen am Dezernat V

Aufgrund der Unsicherheit, die durch die Schätzungen der Menge der Emittenten in den CO₂-Rechner eingebracht werden, ergeben sich für die gesamte CO₂-Bilanz verschiedene Werte. Die Datenbasis aus dem Jahr 2019 liefert das Ergebnis, dass dem Dezernat V im selben Jahr ein mittlerer Ausstoß von 195,751 kg CO₂ eq zuzurechnen ist. Bei der Betrachtung der Streubreite variiert dieser Wert zwischen 182,375 kg CO₂ eq im Minimalfall bzw. 208,000 kg CO₂ eq im Maximalfall. Der CO₂-Ausstoß pro Mitarbeitenden beträgt ca. 1,780 kg CO₂ eq (1,657 kg CO₂ eq im Minimalfall, 1,890 kg CO₂ eq im

Maximalfall). Im Vergleich dazu liegen die durchschnittlichen Emissionen pro FST Mitarbeitenden bei 4,600 kg CO₂ eq [68].

In der Abbildung 16 sind alle Emittenten des Dezernats V aufgeschlüsselt. Dabei wird zwischen minimalen, mittleren und maximalen Ausstoß unterschieden. Auffällig ist dabei die große Differenz bei den Emissionen des Pendelns. Diese ergeben sich durch die Unsicherheiten bei der Schätzung (vgl. Kapitel 3.5.1).

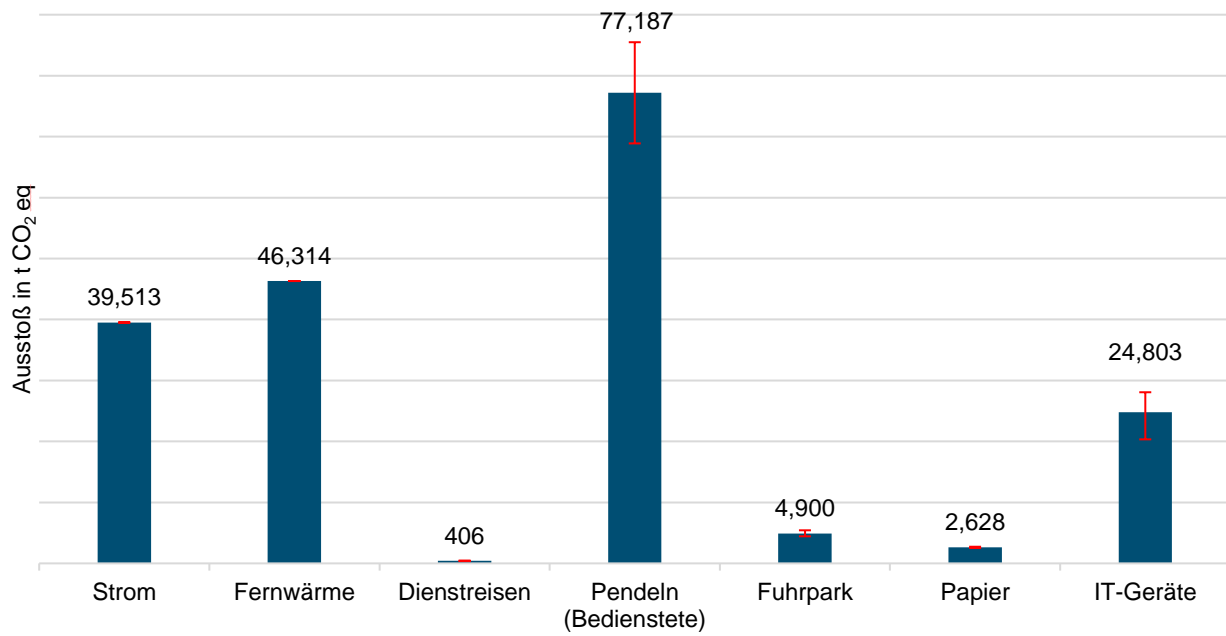


Abbildung 16 - Emittenten des Dezernats V im Jahr 2019

Im weiteren Verlauf wird die Gesamtmenge des ausgestoßenen CO₂ eq anhand des mittleren Ausstoßes aufgeschlüsselt. Wie in Abbildung 17 ersichtlich dominiert der CO₂-Ausstoß aus Scope 2 und Scope 3. Bei prozentualer Betrachtungsweise ergibt sich für diese beiden Scopes ein Anteil von über 98 %. Auffällig dabei ist, dass Scope 1 weniger als 2 % der Gesamtemissionen ausmacht. Dies kann dadurch begründet werden, dass der Fuhrpark des Dezernats V sehr klein ist, keine Rohmaterialien gekauft oder verarbeitet werden und weder Strom noch Wärme selbst erzeugt werden.

CO₂-Ausstoß des Dezernats V im Jahr 2019 in kg CO₂ eq.

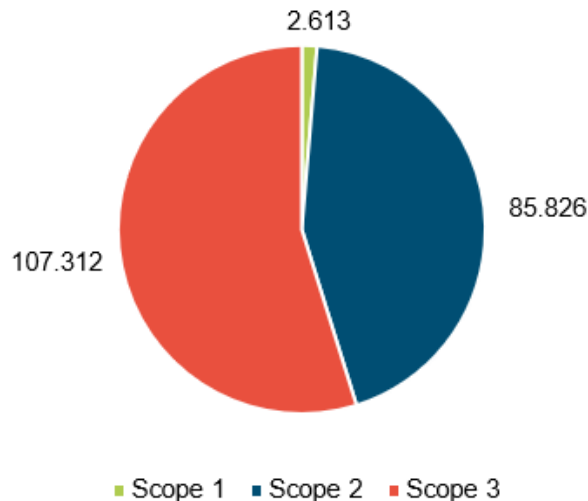


Abbildung 17 - Gesamtbilanz des Dezernats V nach Scopes im Jahr 2019

Die Aufschlüsselung nach Kategorien des CO₂-Rechners ist in Abbildung 18 dargestellt. Hier wird die Menge des ausgestoßenen CO₂ eq nach den Kategorien Energieeinsatz, Mobilität und Materialeinsatz aufgeteilt. Es ist zu erkennen, dass die Kategorie Energieeinsatz mit 85,826 kg CO₂ eq den größten Anteil einnimmt. Die Kategorie Energieeinsatz besteht aus Strom und Wärme im Fall des Dezernats V. Knapp dahinter reiht sich die Kategorie Mobilität ein mit einem Ausstoß von 82,393 kg CO₂ eq. Zu der Kategorie Mobilität zählen Dienstreisen, Pendelweg sowie die Fahrten während der Arbeitszeit. Auf die Kategorie Materialeinsatz entfällt ein Ausstoß von 27,431 kg CO₂ eq. In die Kategorie Materialeinsatz fließen IT-Geräte, Kältemittel, Papier sowie sonstige Rohstoffe hinein. Es wird keine Betrachtung von Rohstoffen vorgenommen, da eine seriöse Schätzung nicht möglich ist.

CO₂-Ausstoß des Dezernats V im Jahr 2019 in kg CO₂ eq.

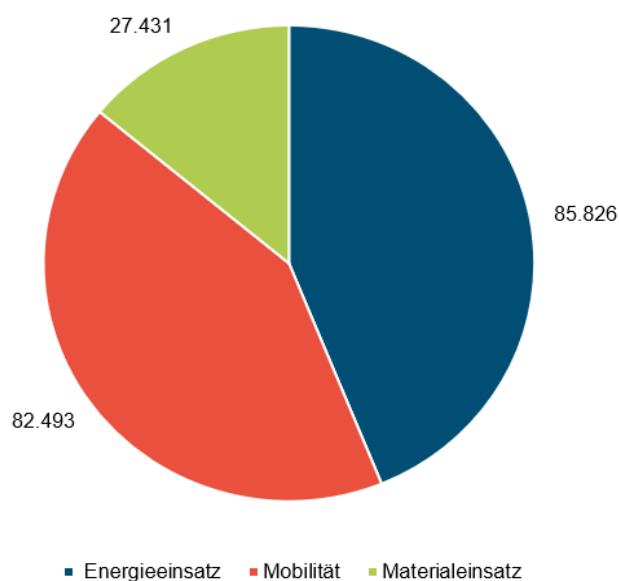


Abbildung 18 - Gesamtbilanz des Dezernats V nach Kategorien des CO₂-Rechners im Jahr 2019

4 Einsparungspotentiale

In diesem Kapitel werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, mit denen CO₂-Emissionen verringert werden können. Dabei werden sowohl bauliche Maßnahmen als auch individuelle Maßnahmen, welche von den Mitarbeitenden umgesetzt werden können, vorgestellt. Zudem wird beispielhaft aufgezeigt, in welchem Maße die Emissionen in den verschiedenen Bereichen gesenkt werden können.

4.1 Umfrage Potenzielle Maßnahmen zur CO₂-Reduktion

Aus den Ergebnissen der ersten Umfrage konnten die relevanten Emissionsfaktoren bezüglich der Arbeitsweise am Dezernat V ermittelt und zusammengefasst werden. Das Ziel der zweiten Umfrage ist es potenzielle Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, die während der Arbeitszeit am Dezernat V entstehen, vorzustellen sowie deren Akzeptanz und Umsetzbarkeit bei den Mitarbeitenden zu erfragen. Aufgrund des engen Zeitplans betrug der Umfragezeitraum lediglich eine Woche. Trotz des knappen Zeitraums nahmen 41 Mitarbeitende an der Umfrage teil. Dies stellt ca. 38 % der Belegschaft des gesamten Dezernats V dar.

Im Folgenden werden die gestellten Fragen und deren Hintergrund genauer vorgestellt. Der komplette Fragebogen kann dem Anhang dieser Arbeit unter Anhang D entnommen werden. Die Umfrage besteht aus 14 Fragen, die in folgende Kategorien klassifiziert werden können:

- Mobilität
- Digitalisierung
- Persönliche Fragen
- Allgemeines Interesse an CO₂-Emissionsreduzierung

Bei der ersten Umfrage zur Arbeitsweise des Dezernats V stellte sich heraus, dass die Mitarbeitenden die Digitalisierung als wichtigen Schritt zur CO₂-Emissionssenkung sehen. Daher wurde in der zweiten Umfrage erfragt, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, damit ein papierloses Büro am Dezernat V umsetzbar ist. Ein weiterer Aspekt, der unter die Kategorie Digitalisierung fällt, besteht in der Möglichkeit zum mobilen Arbeiten auch über die Corona-Pandemie hinweg. Eine Hauptaussage der ersten Umfrage ist, dass die Mitarbeitenden des Dezernats V Interesse an Themen wie CO₂-Emissionen und CO₂-Einsparungen haben. Hierzu konnten die Mitarbeitenden verschiedene Methoden, wie beispielsweise regelmäßig wechselnde Erinnerungen oder das Benennen einer Ansprechperson zu diesen Themen, bewerten. Besonders die Rückmeldung einzelner Mitarbeitender zeigt Verbesserungspotential für zukünftige Umfragen und studentische Arbeiten auf. [69]

4.1.1 Ergebnisse der Umfrage Potenziellen Maßnahmen zur CO₂-Reduktion

Aus der Umfrage Arbeitsweise am Dezernat V ergab sich, dass bereits viele Mitarbeitende häufig Fahrrad fahren. Es gaben 44.4 % an ihren Arbeitsweg mit dem Fahrrad zu bewältigen. Weitere 31.1 % gaben an auch während ihrer Arbeitszeit ihre Dienstwege mit dem Rad zurückzulegen. Mit diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die Mitarbeitenden interessiert wären ein Jobrad zu besitzen, welches ihnen auch zur privaten Nutzung zur Verfügung steht. Vorauszusetzen ist hierbei, dass der Arbeitgeber einen finanziellen Beitrag zum Erwerb dieses Rades leistet. Die Auswertung dieser Fragestellung ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Umfrage ergibt, dass 78.0 % der Mitarbeitenden an

einem solchen Angebot interessiert wären. Zudem bestand bei der Beantwortung der Frage die Möglichkeit über ein offenes Textfeld weitere Angaben zu diesem Thema seitens der Mitarbeitenden zu hinterlegen. Dabei gab eine Person an die Bezuschussung des Landes Hessen zum Kauf eines Lasten-E-Bikes genutzt zu haben. Dies zeigt auf, dass es neben einer möglichen Unterstützung durch den Arbeitgeber noch weitere Angebote gibt, welche die Nutzung von Fahrrädern fördern. Trotzdem erscheint eine Förderung durch den Arbeitgeber ein attraktives Angebot darzustellen. Die vermehrte Nutzung des Fahrrads für den Arbeits- und Dienstweg stellt eine gute Möglichkeit CO₂-Emissionen zu verringern dar.

Haben Sie Interesse an Jobrädern, welche vom Arbeitgeber bezuschusst oder finanziert werden und auch zur privaten Nutzung zur Verfügung stehen?

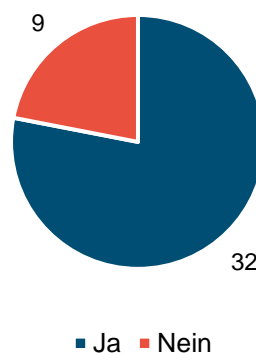


Abbildung 19 - Interesse an Jobrädern

Neben den Fragen zur Mobilität wurde auch die Einstellung der Mitarbeitenden gegenüber der Digitalisierung erfragt. Interessant ist dabei die Bereitschaft, welche die Arbeitnehmenden gegenüber einem papierlosen Arbeiten empfinden. Diese Auswertung ist in Abbildung 20 dargestellt. Durch die momentane Situation der Corona-Pandemie ist die Anzahl der Mitarbeitenden, welche mobil arbeiten, so hoch wie nie zuvor. Dies führt dazu, dass viele Aufgaben digital bewältigt werden müssen. In der Umfrage gab lediglich eine Person an, dass Sie dem Konzept des papierlosen Büros negativ entgegensteht. Dagegen fanden 58.5 % der Befragten das Konzept sogar sehr gut.

Durch die Corona-Pandemie und das damit einhergehende mobile Arbeiten, arbeiten viele Mitarbeitende bereits weitgehend papierlos. Wie finden Sie, unabhängig von der Corona-Pandemie, das papierlose Arbeiten im Büro als dauerhaftes Konzept?

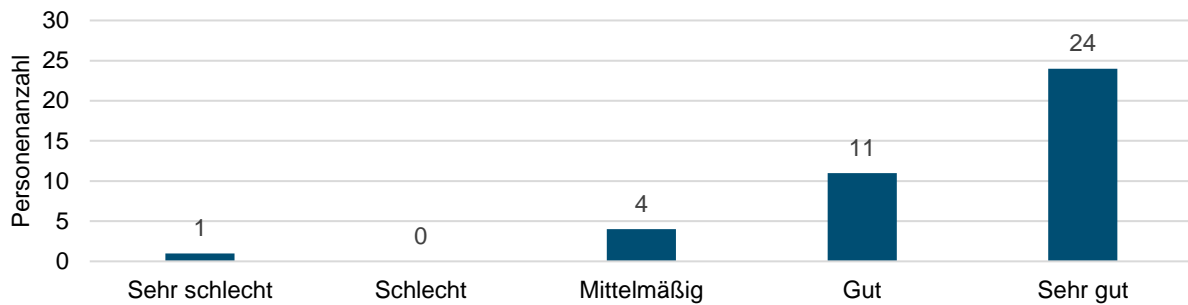


Abbildung 20 - Bewertung des Konzepts papierloses Arbeiten

Die Mitarbeitenden wurden zudem befragt, welche Maßnahmen durchgeführt werden müssen, um das Konzept eines papierlosen Büros umzusetzen. Die Ergebnisse der Umfrage sind in Abbildung 21 aufgeführt. Dabei konnten die Teilnehmenden bei dieser Frage mehrere Antworten auswählen. Neben den abgebildeten Antworten bestand auch die Möglichkeit in einem offenen Textfeld eigene Ideen einzubringen. Diese sind in einer Mindmap zusammengetragen (vgl. Kapitel 4.5). Am häufigsten wurde angemerkt, dass die Digitalisierung von Dokumenten vorangetrieben werden muss. Unabhängig davon ist anzumerken, dass selbst Schulungen zu Microsoft Office, welche am wenigstens ausgewählt wurden, zu einem hohen prozentualen Anteil von 19.5 % der Befragten als Voraussetzung angegeben werden. Eine Schulung der Mitarbeitenden in verschiedenen Bereichen scheint für die Umsetzung des Konzepts unabdingbar.

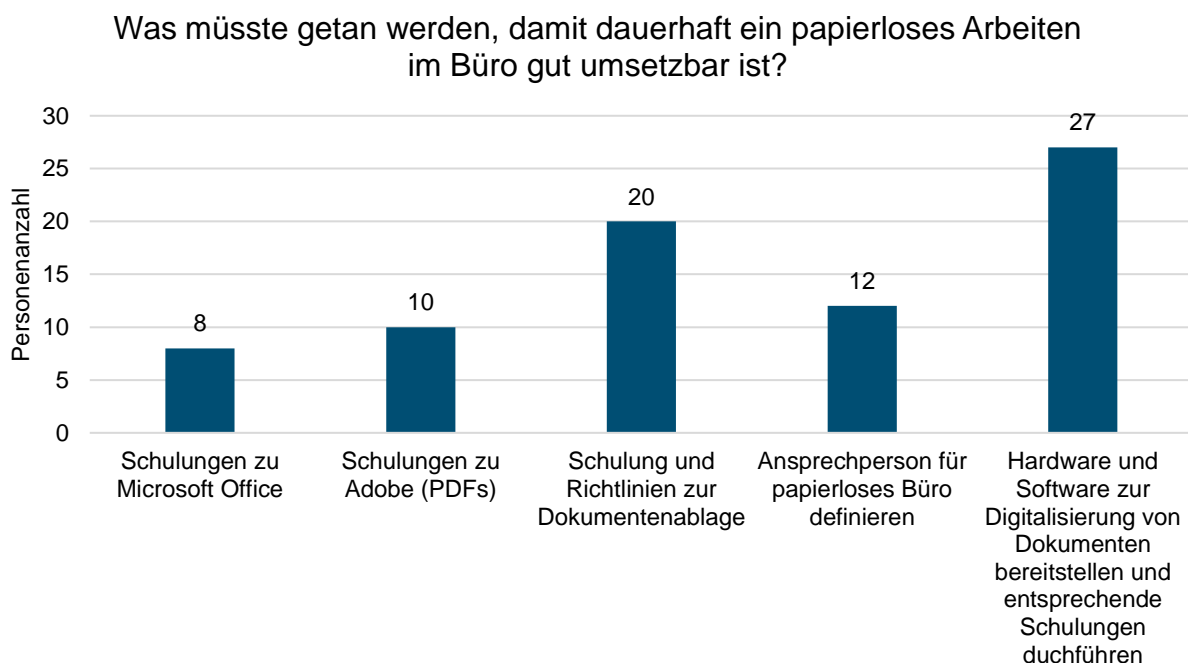


Abbildung 21 - Voraussetzungen zum papierlosen Arbeiten

Aus der Umfrage geht hervor, dass lediglich 7.3 % der Befragten nie mobil arbeiten wollen (vgl. Abbildung 22). Die restlichen Befragten würden gerne mindestens einen Tag in der Woche mobil arbeiten. Knapp 10 % würden sogar bevorzugt jeden Tag mobil arbeiten. Die Mitarbeitenden stehen einem solchen Konzept somit sehr offen gegenüber. Dieses Bedürfnis geht wiederum mit der vorherigen Problemstellung zum Konzept eines papierlosen Büros bzw. Arbeitsplatzes einher, da ein digitaler Zugriff auf wichtige Daten von überall gewährleistet sein muss. Zudem fördert auch diese Maßnahme des mobilen Arbeitens die Reduktion der CO₂-Bilanz des Dezernats V, da beispielsweise der Pendelweg entfällt.

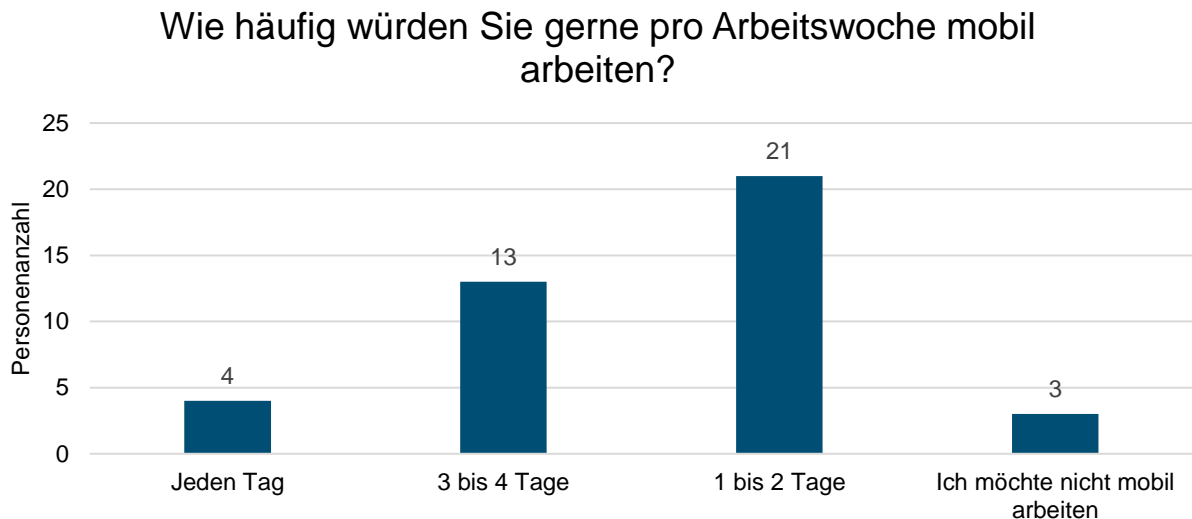


Abbildung 22 - Interesse am mobilen Arbeiten

Zum Bereich des persönlichen Verhaltens gehört der Konsum von Getränken am Arbeitsplatz. Hierbei wurde in der ersten Umfrage zur Arbeitsweise des Dezernats V analysiert, wie viele Mitarbeitende momentan Leitungswasser am Arbeitsplatz trinken. Dabei haben 28.9 % angegeben, dass sie am häufigsten Leitungswasser trinken. Aus der Umfrage zu den potenziellen Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Bilanz ergibt sich, dass 78.0 % (vgl. Abbildung 23) der Befragten häufiger einen Wasserspender nutzen würden und somit weniger eigene Getränke mitnehmen würden. Als Beispiel war hierfür in der Umfrage ein Gerät angegeben, welches das Leitungswasser filtert und stilles oder kohlensäurehaltiges Wasser ausgeben kann.

Würden Sie weniger eigene Getränke mitnehmen, wenn ein kostenloser Wasserspender (mit und ohne Kohlensäure) an Ihrem Arbeitsplatz zur Verfügung stehen würde?

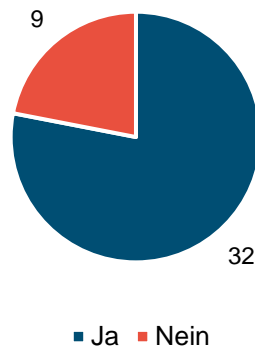


Abbildung 23 - Interesse an Wasser-Filtersystemen

Erinnerungen mit Informationen und Tipps zu nachhaltigem Handeln können im Alltag mit wenig Aufwand einen großen Einfluss auf das Verhalten der Mitarbeitenden haben. In der Abbildung 24 ist zu erkennen, dass die meisten Mitarbeitenden eine entsprechende Maßnahme als hilfreich ansehen.

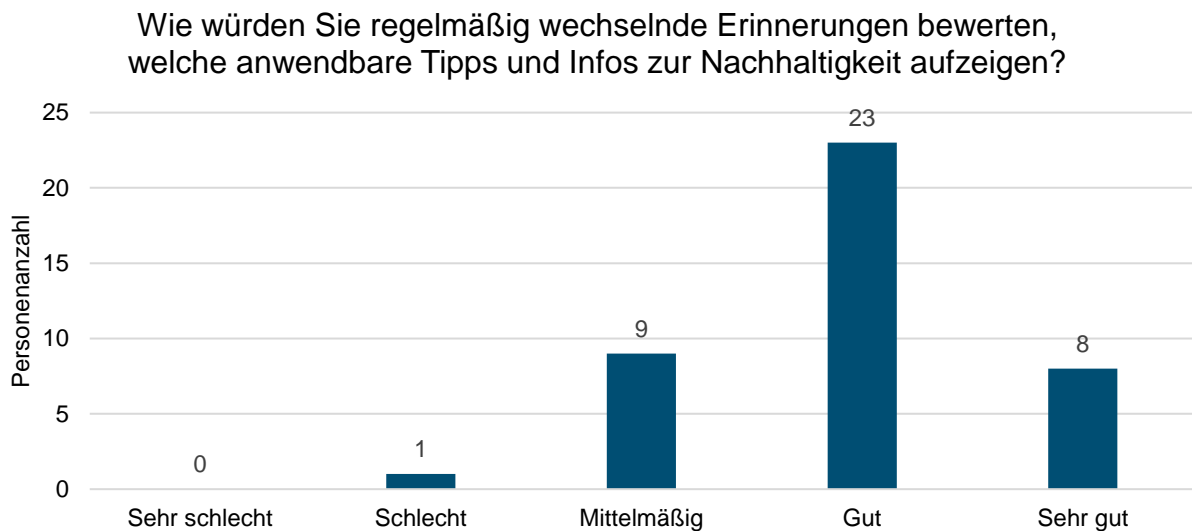


Abbildung 24 - Bewertung täglicher Erinnerungen

Die Antworten auf die Frage zu einer Ansprechperson für Fragen und Ideen rund um das Thema Nachhaltigkeit fällt dabei sehr kontrovers aus (vgl. Abbildung 25). Auch bei dieser Frage war es möglich über ein offenes Textfeld weitere Anmerkungen bezüglich der Fragestellung zu geben. Dabei verwiesen einige Mitarbeitende auf das Büro für Nachhaltigkeit, das diese Rolle übernehmen könnte.

Wünschen Sie sich eine Ansprechperson in Ihrem Dezernat, um eigene Ideen direkt an diese geben zu können?

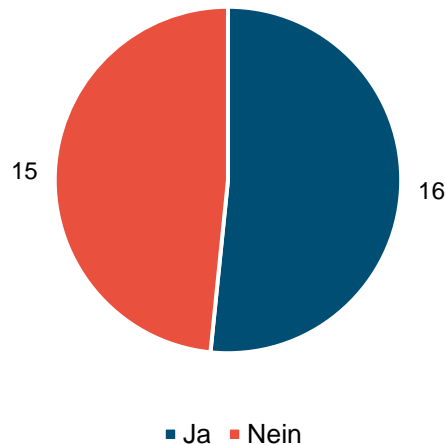


Abbildung 25 - Interesse an direkten Ansprechpersonen

Abschließend ist in der Abbildung 26 zu erkennen, dass sich 68.3 % der Befragten für die Veröffentlichung eines jährlichen Berichts zur CO₂-Bilanz ihres Dezernates interessieren würden. Dadurch kann am Ende des Jahres beispielsweise ein Vergleich zu den vergangenen Jahren geschaffen werden. Außerdem könnte durch die Bilanzierung über einen längeren Zeitraum die Veränderung von einzelnen Emissionsfaktoren gut nachverfolgt werden. Somit könnte der Einfluss von verschiedenen Maßnahmen überprüft werden.

Haben Sie Interesse, jedes Jahr die gesamte CO₂-Bilanz des Dezernats zu erhalten und somit Fortschritte quantifizieren zu können?

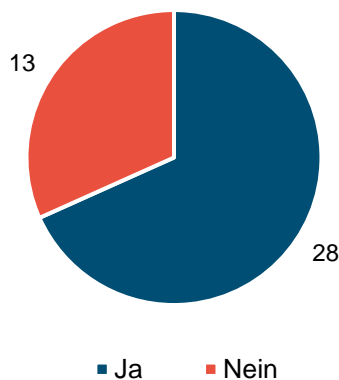


Abbildung 26 - Interesse an einer jährlichen CO₂-Bilanz

4.1.2 Interpretation der Ergebnisse

Aus der Umfrage Potenzielle Maßnahmen zur CO₂-Reduktion lässt sich ableiten, dass ein Großteil der Befragten den vorgestellten Maßnahmen offen gegenüberstehen. Viele Teilnehmende sind an quantitativen Ergebnissen der CO₂-Bilanz interessiert. Dabei könnten jährliche Bilanzen einen Ansporn darstellen, um stetig weitere Maßnahmen zur Emissionsreduktion zu etablieren. Das Konzept des papierlosen Büros scheint viel Unterstützung seitens der Mitarbeitenden zu haben und ist in Hinblick auf das mobile Arbeiten erstrebenswert. Die benötigten Schulungen zur Umsetzung dieses Konzepts sind individuell an die jeweiligen Mitarbeitenden anzupassen, da deren Bedürfnisse stark variieren. Eine Ansprechperson für Fragen und Ideen zum Thema Nachhaltigkeit wird nicht grundsätzlich für notwendig erachtet, kann aber in Bezug auf das bereits ans Dezernat V eingegliederte Büro für Nachhaltigkeit durchaus sinnvoll sein. Die erweiterte Nutzung von Fahrrädern sowohl für den Arbeits-, als auch für den Dienstweg scheint im Interesse vieler Mitarbeiter zu liegen, insofern weitere Maßnahmen getroffen werden, welche die Nutzung von Fahrrädern attraktiver machen.

4.2 Einsparungspotentiale durch die Gebäudeversorgung

Die Versorgung der Gebäude des Dezernats V mit Strom und Wärme verursachen zusammen betrachtet die meisten Emissionen innerhalb der CO₂-Bilanz. Schon geringe prozentuale Einsparungen haben in diesem Bereich große Auswirkungen auf die Gesamtemissionen. An dieser Stelle sei auf die Arbeit EnEff: Stadt Campus Lichtwiese verwiesen. Diese gibt einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Emissionsfaktoren von Wärme und Strom an der TU Darmstadt, die hier in verkürzter Form vorgestellt werden.

Ab dem Jahr 2030 wird von einer deutlichen Reduktion der spezifischen Wärmeemissionen ausgegangen, da durch eine geplante Absenkung der Temperatur im Fernwärmenetz geringere Verluste entstehen (vgl. Abbildung 27). Der CO₂-Emissionsfaktor von Wärme fällt damit voraussichtlich von aktuell 0.18 t CO₂/MWh auf 0.1 t CO₂/MWh im Jahr 2030 und auf 0.06 t CO₂/MWh für das Jahr 2040 ab. Dies soll durch den Einsatz von regenerativer Wärme ermöglicht werden. [45]

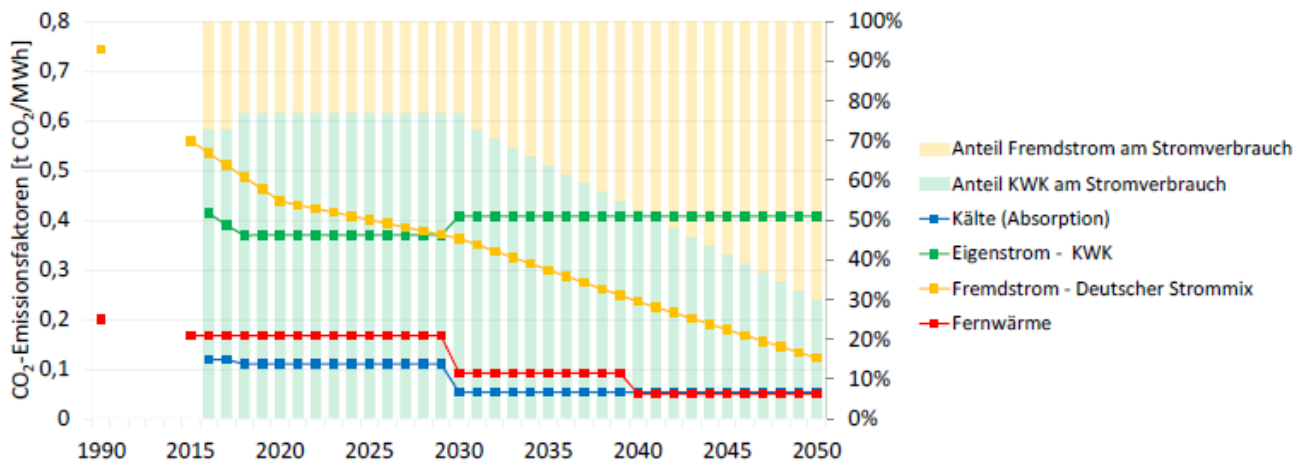


Abbildung 27 - Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren für den Campus Lichtwiese von 1990 bis 2050

Zu beachten ist, dass eine Absenkung der Temperaturen im Fernwärmenetz nur möglich ist, wenn gleichzeitig zusätzliche wärmeenergieeinsparende Maßnahme getroffen werden. Dazu zählen besser gedämmte Gebäudehüllen (vgl. Kapitel 4.4), geringere Heizlasten sowie der Einbau von Flächenheizungen. [45] [70]

Die Absenkung der Temperatur im Fernwärmenetz geht mit einem Anstieg der spezifischen Emissionsfaktoren des in den BHKWs erzeugten Strom einher (vgl. Abbildung 27). Durch das in der Berechnung angewandte Allokationsverfahren wird der dort erzeugten Wärme weniger CO₂ eq gutgeschrieben. Vor dem Hintergrund, dass 20 % des Stromverbrauches durch den Zukauf von Ökostrom gedeckt wird, ist unter dem Aspekt der Emissionsreduzierung davon auszugehen, dass in Zukunft dieser Anteil wachsen wird. Dabei sollte in Betracht gezogen werden, diesen Anteil teilweise durch selbst erzeugten Solarstrom zu decken (vgl. Kapitel 4.3).

4.3 Einsparungspotentiale Strom

Um die Energiewende voranzutreiben, mittels welcher die CO₂-Emissionen von Deutschland gesenkt werden sollen, wird vermehrt auf erneuerbare Energien anstelle auf fossile Brennstoffe gesetzt. Neben dem Aspekt der Klimaverträglichkeit, kann somit auch eine Unabhängigkeit von anderen Staaten gewährleistet werden, aus denen Brennstoffe importiert werden. Um den Ausbau regenerativer Energiequellen voranzutreiben, wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verabschiedet [71]. Das EEG verpflichtet Netzbetreiber Strom aus erneuerbaren Energien bevorzugt abzunehmen und weiterzuleiten [72]. Des Weiteren sollen bis zum Jahr 2025 mindestens 40 % des verbrauchten Stroms in Deutschland aus erneuerbaren Energien stammen [71]. Die EEG-Umlage wird von jedem Stromverbraucher gezahlt. Dabei spielt der abgeschlossene Stromtarif keine Rolle.

Um eine Vorstellung über das Einsparpotential durch erneuerbare Energien zu erhalten, können die aktuellen Zahlen des Umweltbundesamt genutzt werden. Laut diesem konnten im Jahr 2019 insgesamt 203 Mio. t CO₂ eq durch den Einsatz von erneuerbaren Energien eingespart werden. Dabei entfallen 78 % des CO₂-Äquivalents auf die Stromerzeugung. [73]

Das Gebäude S3/20 der TU Darmstadt ist nicht an das universitätsinterne Stromnetzwerk angeschlossen, sondern bezieht Strom über einen externen Anbieter [43]. Im Folgenden wird exemplarisch bestimmt, wie sich ein Wechsel vom aktuellen Stromtarif zu einem Ökostrom-Tarif auf

die CO₂-Emissionen des Gebäudes auswirken würde. Der aktuell bezogene Strom vom Anbieter Enercity besitzt einen Emissionsfaktor von 81 g CO₂ eq/kWh [52]. Für den Bezug von Ökostrom, so wie er von der TU Darmstadt bezogen wird, wird ein Wert von 39 g CO₂ eq/kWh angenommen [49]. Der Stromverbrauch des betrachteten Gebäudes entsprach im Jahr 2019 insgesamt 302.208 kWh [52]. Mit dem Strom von Enercity, welcher momentan verwendet wird, ergibt dies einen Ausstoß von 24.48 t CO₂ eq im Jahr 2019. Durch den Bezug von Ökostrom würden dagegen lediglich 11.79 t CO₂ eq ausgestoßen werden. Dies entspricht einer Einsparung 51.84 %.

Die Kosten, die durch den Wechsel zu einem Ökostromtarif entstehen, sind im Folgenden aufgeführt. Der Preis für den momentanen Stromverbrauch beläuft sich auf 0.1847 €/kWh [52]. Durch die Onlinerecherche eines Strompreises für einen Ökostromtarif ergibt sich ein Preis von 0.1939 €/kWh [74]. Der tatsächliche Preis für Großabnehmer kann von dem recherchierten Preis abweichen. Der Grund dafür ist, dass der Strompreis sich aus verschiedenen Komponenten zusammensetzt und für jedes Unternehmen ein individuelles Angebot zugeschnitten wird. Bei einem Verbrauch von 302,208 kWh ergibt sich ein zu zahlender Gesamtbetrag von 55,784.57 € für das Jahr 2019. Der Ökostrompreis für das Jahr 2019 würde 58,563.23 € betragen. Somit erhöht sich der Preis für den Stromverbrauch um 4.98 %, allerdings können 51.84 % der CO₂-Emissionen eingespart werden. Die Gebäude S3/07 sowie L3/02 sind am Stromnetzwerk der Universität angeschlossen. Daher ist bei diesen der Wechsel auf einen Ökostromtarif nicht sinnvoll.

Um den Anteil an zugekauften Strom reduzieren zu können, bietet sich die eigene Stromgewinnung durch Photovoltaikanlagen an. Der gesamte Stromverbrauch der jeweiligen Gebäude des Dezernats V sowie die maximale Anzahl an Solarpanels, welche auf den jeweiligen Dächern installiert werden können, sind in Tabelle 19 für das Jahr 2019 aufgeführt.

Gebäude	Anzahl Solarpanels pro Gebäude [Stk.]	Benötigter Strom im Jahr 2019 [kWh]	Erzeugter Strom durch Solarpanels pro Jahr [kWh]	Prozentualer Anteil des Stroms, der durch Solarpanels gedeckt werden kann
S3/20	70	320,208	35,000	10.93 %
S3/07	96	82,734	48,000	58.02 %

Tabelle 19 - Prozentual mögliche Deckung des Strombedarfs durch Solarpanels

Im Gebäude S3/20 sind lediglich zwei Etagen dem Dezernat V zuzuordnen, insgesamt besitzt das Gebäude jedoch vier Etagen. Da für die weiterführende Berechnung die gesamte Dachfläche des Gebäudes betrachtet wird, liegt es nahe auch den Stromverbrauch des gesamten Gebäudes für die Rechnung zu nutzen. Es ist anzunehmen, dass eine Photovoltaik-Anlage mit einer Größe von 3.5 m² ca. 500 kWh Strom pro Jahr erzeugt [75, 76].

Abbildung 28 zeigt die Effizienz von Solarpanels in Abhängigkeit von deren Ausrichtung und Neigung. Dabei ist zu erkennen, dass eine Ausrichtung nach Süden und ein Neigungswinkel zwischen 30° bis 40° optimal ist. Auf einem Flachdach kann die Ausrichtung leicht in optimale Richtung ausgeführt werden. Mit steigendem Neigungswinkel ist jedoch ein zunehmend größerer Abstand zwischen den einzelnen Reihen der Solarpanels notwendig, um eine gegenseitige Verschattung zu vermeiden. Eine Verringerung des Neigungswinkels auf ca. 10° bis 15° führt je nach Ausrichtung lediglich zu einem Effizienzverlust von fünf bis sieben Prozent. Dieser Effizienzverlust kann jedoch

durch den geringeren Abstand der einzelnen Reihen untereinander und somit der höheren Anzahl an Solarpanels pro Dach leicht kompensiert werden. [77, 78]

Eine Verringerung des Neigungswinkels auf unter 10 % ist jedoch nicht ratsam, da dies zu einer schnelleren Verschmutzung der Solarpanels führt, was wiederum deren Effizienz deutlich senkt. Dies ist durch den selbstreinigenden Effekt aufgrund von Regen zu erklären, welcher von der Neigung abhängig ist. [77]

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren lässt sich der Literatur ein benötigter Reihenabstand von ca. 1.5 m zwischen den einzelnen Reihen entnehmen. Die Abmessung eines einzelnen Solarpanels wird mit 1 m Länge und 3.5 m Breite angenommen [79]. Die Fläche eines einzelnen Solarpanels beträgt somit 3.5 m². Über eine Abmessung der nutzbaren Dachfläche in Google Maps kann mit diesen Annahmen die ungefähre Anzahl der Solarpanels abgeschätzt werden, welche auf dem Dach installiert werden können. Für das Gebäude S3/20 ergibt sich aus der Abschätzung ein Wert von 70 Solarpanels. Eine solche Anlage könnte somit ungefähr 35,000 kWh Strom pro Jahr erzeugen. Dies entspricht 10.93 % des gesamten Stromverbrauchs dieses Gebäudes.

		Dachausrichtung																		
		Süd	Südost Südwest								Ost West	Nordost Nordwest								Nord
			0	10	20	30	40	50	60	70		80	90	100	110	120	130	140	150	
Dachneigung	0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
	10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%
	20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%
	30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%
	40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%
	50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%
	60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%
	70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	63%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%
	80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%
	90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%

Abbildung 28 - Effizienz von Solarpanels abhängig von deren Ausrichtung [77]

Im Folgenden wird auf das Einsparungspotential durch eine Photovoltaikanlage eingegangen. Dabei werden die durchschnittlichen Kosten mit 170 €/m² der Solarpanels veranschlagt. Der durchschnittliche Strompreis im Jahr 2019 betrug 30.43 Cent/kWh [80]. Im Folgenden ist die Amortisationsrechnung für die Installation von Solarpanelen auf dem Gebäude S3/20 aufgeführt:

$$\text{Stromkosten im Jahr 2019: } 0.3043 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 320,208 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 97,439.30 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad (14)$$

$$\text{Einsparungen mit Photovoltaik-Anlage: } 97,439.30 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 10.93 \% = 10,650.11 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad (15)$$

$$\text{Kosten für die Solarpanels: } 70 \cdot 3.5 \text{ m}^2 \cdot 170 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 41,650.00 \text{ €} \quad (16)$$

$$\text{Amortisationszeit: } \frac{41,650.00 \text{ €}}{10,650.11 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 3.91 \text{ a} \quad (17)$$

Aus dieser Rechnung resultiert, dass die Kosten der Anlage nach ca. 4 Jahren durch die eigene Stromerzeugung gedeckt werden.

Diese Rechnung kann analog für das Gebäude S3/07 durchgeführt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass auf dem Dach 96 Solarpanels installiert werden können. Somit können insgesamt 48,000 kWh Strom erzeugt werden. Dies entspricht 58,02 % des gesamten Stromverbrauchs des Gebäudes.

$$\text{Stromkosten im Jahr 2019: } 0.3043 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 82,734 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} = 25,175.96 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad (18)$$

$$\text{Einsparungen mit Photovoltaik-Anlage: } 25,175.96 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot 58.02 \% = 14,607.09 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad (19)$$

$$\text{Kosten für die Solarpanels: } 96 \cdot 3.5 \text{ m}^2 \cdot 170 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 57,120.00 \text{ €} \quad (20)$$

$$\text{Amortisationszeit: } \frac{57,120.00 \text{ €}}{14,607.09 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 3.91 \text{ a} \quad (21)$$

Die Amortisationszeit für die Installation von Solarpanels auf dem S3/07 beträgt somit ebenfalls ca. 4 Jahre.

Für das Gebäude L3/02 werden keine Berechnungen durchgeführt, da dieses so ausgelegt wurde, dass es in der Theorie durch die bereits installierten Solarpanels vollständig versorgt werden kann.

Bei den in der Rechnung verwendeten Werten handelt es sich lediglich um Schätzwerte, welche verschiedenen Quellen entnommen wurden. Für eine genauere Beurteilung müsste das Dach präziser vermessen werden und die jeweiligen Kosten für die Installation von spezialisierten Firmen bestimmt werden. Zudem müsste bestimmt werden, ob die Dächer das zusätzliche Gewicht durch die Solarpanels tragen können. Diese Rechnung zeigt jedoch das Potential, welches die Installation von Solarpanels auf den Dächern des Dezernats V mit sich bringen würde.

4.4 Wärmeverluste über die Fenster

Bei der Betrachtung der Energieversorgung von Gebäuden spielen Fenster eine zentrale Rolle. Dabei können sie einerseits durch die einfallende Sonnenstrahlung einen nicht unerheblichen Beitrag zur Aufheizung des Gebäudes beitragen. Auf der anderen Seite steigt der Wärmeverlust mit steigender Fensterfläche zunehmend. Nachfolgend soll dieser Wärmeverlust exemplarisch berechnet werden. In Abbildung 29 ist der Wärmeverlust eines Fensters dargestellt. Dabei ist gut zu erkennen, dass der

Wärmeverlust über die Glasscheibe und vor allem den Rahmen deutlich höher ist als der über die Wandfläche.

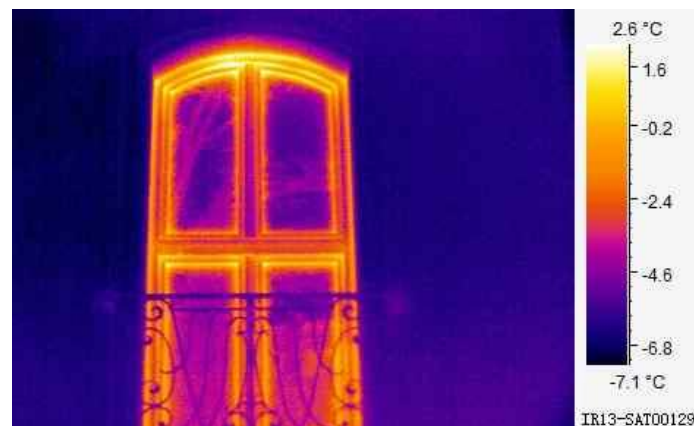


Abbildung 29 - Wärmeverlust über die Fenster [81]

Der Wärmeverlust eines Fensters hängt von seinem Wärmedurchgangskoeffizienten, auch U-Wert genannt, ab. Dabei muss zwischen dem U_G -Wert für das Fensterglas und dem U_F -Wert für den Fensterrahmen unterschieden werden. Daraus resultierend kann nach DIN EN ISO 10077 ein Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U_w bestimmt werden. Dieser hängt von der jeweiligen Größe der Glasscheibe und des Rahmens sowie von den verwendeten Materialien ab. Generell gilt, dass niedrigere U-Werte eine bessere Wärmedämmung bedeuten. Die U-Werte berücksichtigen jedoch keine Verluste, welche durch einen nicht fachgerechten Einbau entstehen können. [81]

In Tabelle 20 sind gängige U_G -Werte für die unterschiedlichen Verglasungstypen aufgeführt.

Verglasungstyp	typische U_G -Wert $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$
Einfachverglasung	> 5
Zweifachverglasung	1.0 bis 1.8
Dreifachverglasung	0.5 bis 0.8

Tabelle 20 – Verglasungstypen [82]

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmen unterscheiden sich untereinander sehr stark. Der U_F -Wert bei Aluminiumrahmen ist stark von der Isolierung zwischen äußerem und innerem Rahmen abhängig. Dabei können Werte zwischen 0.7 bis 2.6 W/m^2K erreicht werden. Mit Kunststoffrahmen sind dagegen Werte zwischen 0.75 bis 1.8 W/m^2K üblich. Bei Fensterrahmen sind Werte zwischen 1.3 bis 1.8 W/m^2K aktueller Stand der Technik. [83]

Der U-Wert der Fensterrahmen ist in der Regel größer als der des Fensterglases. Bei kleineren Fenstern ist es somit wichtig auch die Verluste über den Rahmen zu berücksichtigen. Je größer die Fensterfläche wird, umso mehr dominiert der Wärmeverlust über das Fensterglas.

Viele Fenster des Gebäudes S3/07 sind sehr groß. Vereinfacht kann daher der Wärmeverlust über den Fensterrahmen vernachlässigt werden. Für eine Beispielrechnung sei der U_G -Wert des Fensters

1.5 W/m²K. Die Gesamtfensterfläche von S3/07 beträgt 550 m². Die Jahresdurchschnittstemperatur in Darmstadt lag 2019 bei 9.5 °C und die Gebäudetemperatur beträgt durchschnittlich 21 °C [84]. Somit ergibt sich eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von 11.5 K.

Die daraus resultierende jährliche Wärmeverlustleistung \dot{Q}_{Verlust} lässt sich wie folgt berechnen:

$$\dot{Q}_{\text{Verlust}} = 1.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 550 \text{ m}^2 \cdot 11.5 \text{ K} \cdot 24 \cdot 365 = 83.1 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \quad (22)$$

Der Wärmeverlust über die Fenster beträgt dementsprechend 83.1 MWh/a. Dies berücksichtigt allerdings nicht den Wärmegewinn, welcher durch Sonneneinstrahlung generiert wird. Nun wird die Rechnung zum Vergleich für ein Fenster mit einem U_G -Wert von 1.0 W/m²K durchgeführt:

$$\dot{Q}_{\text{Verlust}} = 1.0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 550 \text{ m}^2 \cdot 11.5 \text{ K} \cdot 24 \cdot 365 = 55.4 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \quad (23)$$

Durch die verbesserte Verglasung kann somit eine Wärmeverlustleistung von 27.7 MWh/a vermieden werden. Bei einem Emissionsfaktor von 0.141 t CO₂ eq/MWh, welcher der Wärmeerzeugung durch das BHKW an der Lichtwiese zugeordnet werden kann, entspricht dies einer jährlichen Einsparung von 3.91 t CO₂ eq.

Für das Gebäude S3/20 mit den Etagen drei und vier kann der Wärmeverlust über den Fensterrahmen nicht als vernachlässigbar angesehen werden, da hier kleinere Fenster verbaut sind. Die Rahmenfläche wurde nicht vermessen und wird daher im Folgenden mit 60 m² angenommen. Dies entspricht ca. 15 % der Fensterfläche. Die Fensterfläche beträgt insgesamt 404 m². Weiterhin wird $U_G=1.5$ und $U_F=1.8$ definiert. Daraus ergibt sich für die jährliche Wärmeverlustleistung:

$$\dot{Q}_{\text{Verlust}} = \left(1.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 404 \text{ m}^2 + 1.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 60 \text{ m}^2 \right) \cdot 11.5 \text{ K} \cdot 24 \cdot 365 = 71.9 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \quad (24)$$

Eine Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten auf $U_G=1.0$ und $U_F=1.3$ führt hierbei zu folgender Reduktion der Wärmeverlustleistung:

$$\dot{Q}_{\text{Verlust}} = \left(1.0 \cdot 404 \text{ m}^2 + 1.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 60 \text{ m}^2 \right) \cdot 11.5 \text{ K} \cdot 24 \cdot 365 = 48.6 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \quad (25)$$

Durch den Einsatz besserer Materialien könnte hierbei eine Wärmeverlustenergie von 23.3 MWh/a vermieden werden, was einem Ausstoß von 3.29 t CO₂ eq entspricht.

Für eine exakte Rechnung müssen genaue Werte der jeweiligen Fenstergläser und -rahmen ermittelt werden. Für eine exakte Berechnung werden neben den Wärmedurchgangskoeffizienten und den Flächen vom Fensterglas und Fensterrahmen auch noch der Wärmedurchgang an der Glaskante ψ_G sowie der Länge des Randverbundes l_G benötigt. [81]

Die vereinfachte Rechnung veranschaulicht jedoch den signifikanten Einfluss der Wärmedurchgangskoeffizienten auf den Wärmeenergieverlust. Der Gesamtbezug des Wärmebedarfs

für das Dezernat V setzt 46.3 tCO₂ eq pro Jahr frei. Die Rechnung mit abgeschätzten Wärmedurchgangskoeffizienten zeigt ein Einsparungspotential von 7.2 tCO₂ eq pro Jahr auf. Dies entspricht einer Verminderung der Emissionen beider Gebäude durch die Wärmeversorgung um ca. 15 %.

4.5 Einsparungspotentiale durch Veränderungen der Arbeitsweise am Dezernat V

In der letzten Frage der Umfrage Arbeitsweise der Dezernats V und während der zweiten Umfrage konnten die Mitarbeitenden eigene Ideen und Verbesserungsvorschläge anonym äußern. Die Ergebnisse lassen sich in vier Kategorien zusammenfassen:

- Dezernat V und TU Darmstadt
- Digitalisierung
- Mobilität am Dezernat
- Mitarbeitende

Es entstehen zwei Mindmaps, da die Kategorien Dezernat V und TU Darmstadt, Digitalisierung und Mitarbeitende in beiden Umfragen mit Ideen versehen wurden, wobei Verbesserungen zu der Mobilität lediglich in der ersten Umfrage zu finden sind. Unter die erste Kategorie fällt dabei beispielsweise ein breiteres Angebot an vegetarischen und veganen Gerichten in der Mensa, Schulungen zum Thema Energiesparen und eine mögliche Veröffentlichung von Energiebilanzen der Institute bzw. der gesamten Universität. Zudem wurde der Aspekt der unzureichenden Mülltrennung am Dezernat V sowie die Digitalisierung von Papierakten häufig angesprochen. Im Bereich der Digitalisierung wünschen sich einige Mitarbeitende die Ausweitung der Möglichkeit zum mobilen Arbeiten auch außerhalb der Corona-Pandemie. Damit einhergehend ist auch der Umstieg von Standcomputern auf Laptops gewünscht. Der Bereich der Mobilität beinhaltet verschiedene Vorschläge, um vor allem den Pendelweg sowie den Arbeitsweg klimafreundlicher zu gestalten. Zuletzt werden noch einige Maßnahmen, welche direkt den einzelnen Mitarbeitenden betreffen, aufgeführt.

In den Abbildungen 30 und 31 werden sämtliche Ideen, welche von den Mitarbeitenden des Dezernats V genannt wurden, zusammengefasst und kategorisiert dargestellt.

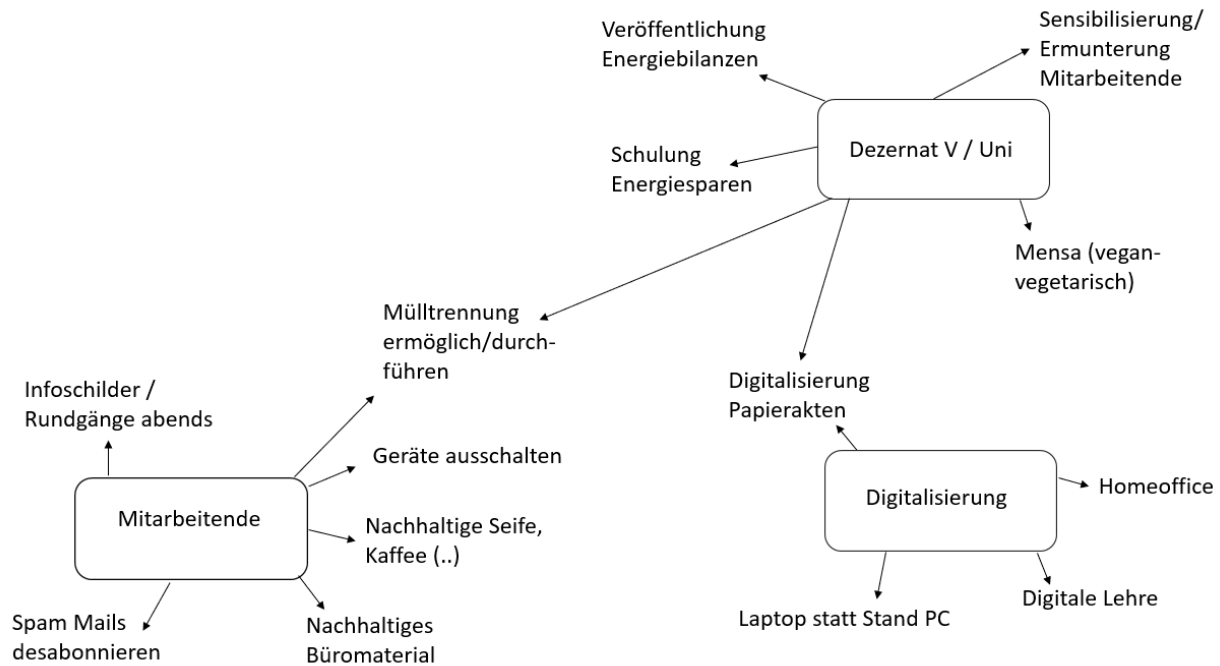


Abbildung 30 - Mindmap mit Verbesserungspotentialen von Teilnehmenden der Umfragen Teil 1

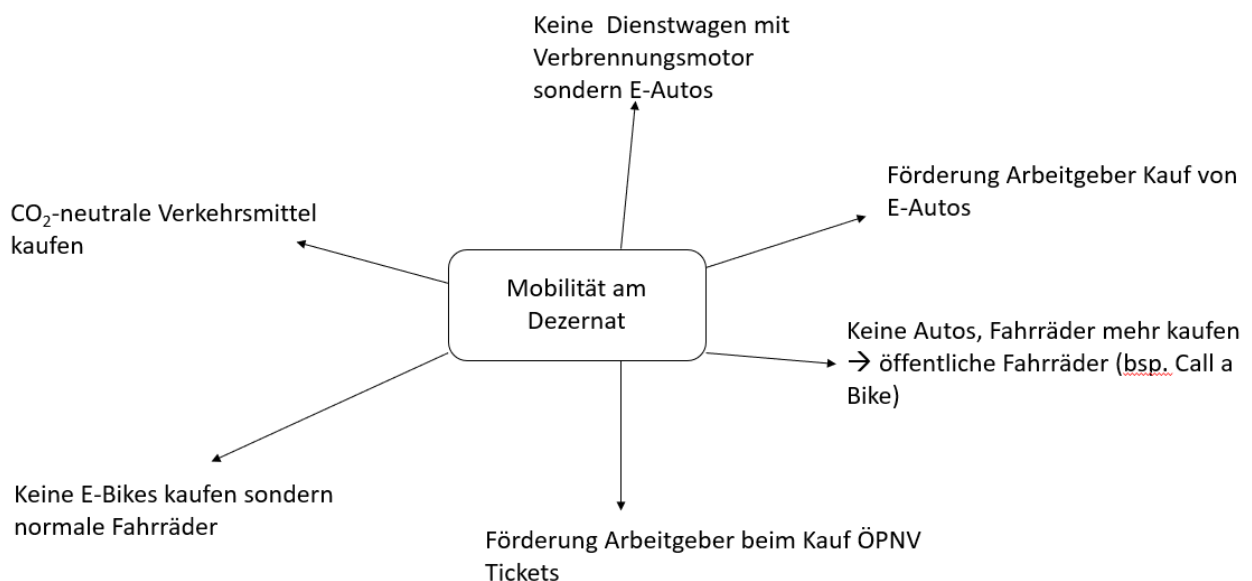


Abbildung 31 - Mindmap mit Verbesserungspotentialen von Teilnehmenden der Umfragen Teil 2

Im Folgenden soll der Einfluss von vier Maßnahmen zur CO₂-Reduktion exemplarisch berechnet werden. Die genutzten Beispiele leiten sich aus den Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeitenden ab. Dabei soll der Einfluss von vermeintlich kleinen Veränderungen aufgezeigt werden.

Das erste Beispiel bezieht sich auf die Emissionsreduktion der Pendelwege durch mobiles Arbeiten. Hierfür wird angenommen, dass alle Mitarbeitenden im Durchschnitt einen Tag in der Arbeitswoche mobil arbeiten. Ein Tag der Arbeitswoche entspricht 20 %. Durch diese Maßnahme würden 20 % der

momentanen Emissionen in Höhe von 77,190 kg CO₂ eq eingespart werden. Dies entspricht einer Menge von 15,438 kg CO₂ eq.

Das zweite Rechenbeispiel bezieht sich auf das Einsparungspotential durch das Abmelden von Spammails, wie Newslettern oder Werbemails. Weltweit werden pro Tag um die 306.4 Milliarden Mails im privaten und geschäftlichen Bereich versendet [85]. Mails können dabei in drei unterschiedliche Kategorien mit unterschiedlichen durchschnittlichen CO₂-Äquivalenten eingeteilt werden [86]:

- Spam-Mail ≈ 0.3 g CO₂ eq
- Standardmail ≈ 4 g CO₂ eq
- Mail mit Anhang ≈ 50 g CO₂ eq

Zur Berechnung des Einsparungspotentials am Dezernat V wird der Mailverkehr der 110 Mitarbeitenden abgeschätzt. Dabei werden 216 Arbeitstage pro Jahr und ein Durchschnittswert von 21 Mails pro Person und Tag angenommen [87]. Die Anteile der verschiedenen Mailtypen werden wie folgt angenommen [88]:

- 55.0 % Spam-Mails
- 22.5 % Standard-Mails
- 22.5 % Mails mit Anhang

Mit diesen Annahmen können die jährlichen CO₂-Emissionen pro Person wie folgt berechnet werden:

$$(0.55 \cdot 0.3 \text{ g CO}_2 \text{ eq} + 0.225 \cdot 4 \text{ g CO}_2 \text{ eq} + 0.225 \cdot 50 \text{ g CO}_2 \text{ eq}) \cdot 21 = 261.14 \text{ g CO}_2 \text{ eq} \quad (26)$$

Die CO₂-Emissionen, welche in Verbindung mit Mails entstehen, betragen somit 261.14 g CO₂ eq pro Person und Tag. Diese Emissionen werden nun auf die 110 Mitarbeitenden des Dezernats V und das gesamte Jahr hochgerechnet:

$$216 \text{ d} \cdot 110 \text{ Personen} \cdot 261.135 \frac{\text{g CO}_2 \text{ eq}}{\text{d} \cdot \text{Person}} = 6.21 \text{ t CO}_2 \text{ eq} \quad (27)$$

Pro Jahr entstehen somit am Dezernat V Emissionen in Höhe von 6.21 t CO₂ eq.

Davon ausgehend, dass sämtliche Standard-Mails und die Mails mit Anhang notwendig sind, kann zumindest auf die Menge an Spam-Mails Einfluss genommen werden. Die Berechnung der reinen Emissionen durch Spam-Mails lautet:

$$0.55 \cdot 21 \text{ Mails} \cdot \frac{0.3 \text{ g CO}_2 \text{ eq}}{\text{Mail}} \cdot 216 \text{ d} \cdot 110 \text{ Personen} = 82.33 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (28)$$

Durch das Abmelden von Spam-Mails, wie Newsletter und Werbemails, können somit 82.33 kg CO₂ eq eingespart werden.

Weitere Maßnahmen, die zu einer CO₂-Einsparung durch den Mailverkehr führen, ist die Nutzung von Cloudplattformen wie Dropbox oder Hessenbox, um keine Dokumente in den Anhang von Mails setzen zu müssen. Des Weiteren sollten Mails immer auf Vollständigkeit geprüft werden, um das Versenden von zusätzlichen Mails zu vermeiden. Da das Versenden von Mails mit Anhang einen deutlich höheren Emissionsfaktor besitzt als das Versenden von Spam-Mails, ist dieser Einfluss schwerwiegender.

Als nächstes wird das Einsparungspotential durch das Ausschalten des Computerbildschirms in Abwesenheit der Mitarbeitenden aufgegriffen. Hierfür werden im Folgenden diese Annahmen verwendet:

- Die Bildschirmgröße beträgt 24 Zoll
- Die Leistung eines Bildschirms liegt bei 25 Watt
- Die Mitarbeitenden des Dezernats V haben insgesamt 200 Bildschirme
- 216 Arbeitstage pro Jahr
- Ein Mitarbeitender befindet sich 9 Stunden pro Tag am Arbeitsplatz (inklusive Pausen)
- Der Bildschirm kann während der Arbeitszeit für 2 Stunden am Tag abgeschaltet werden

Für den Fall, dass Mitarbeitende den Computerbildschirm den ganzen Arbeitstag lang angeschaltet haben und diesen auch in den Pausen nicht ausschalten, berechnet sich die verbrauchte Leistung pro Jahr wie folgt:

$$25 \text{ W} \cdot 9 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 216 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 48 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \quad (29)$$

Der jährliche Verbrauch pro Person und genutzten Bildschirm liegt somit bei 48 kWh/a. Hochgerechnet auf das gesamte Dezernat V ergibt dies:

$$48 \frac{\text{kWh}}{\text{a} \cdot \text{Bildschirm}} \cdot 200 \text{ Bildschirme} = 9,720 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \quad (30)$$

Der Gesamtverbrauch für den Fall, dass jeder Bildschirm für neun Stunden am Tag angeschaltet ist, ergibt sich somit zu 9,720 kWh/a. Bei einem Emissionsfaktor von 39 g CO₂ eq/kWh für den Bezug von Ökostrom, ergibt sich somit eine Emission von 379.08 kg CO₂ eq pro Jahr.

Werden hingegen sämtliche Bildschirme für zwei Stunden am Tag ausgeschaltet, so ergibt sich eine Ersparnis von 2,160 kWh/a. Umgerechnet ergibt dies eine Ersparnis von 84.24 kg CO₂ eq pro Jahr.

Als viertes Beispiel wird das Einsparungspotential durch die Reduzierung des Fleischkonsums betrachtet.

Jährlich werden in Deutschland ca. 60 kg Fleisch pro Kopf verzehrt, wobei auch Kinder und Vegetarier bzw. Veganer mit eingerechnet werden. Dies ergibt im Schnitt einen täglichen Fleischkonsum von 165 g pro Person. [89]

Die am meisten konsumierte Fleischsorte ist Schweinefleisch mit 61 %, gefolgt von Geflügel mit 23 % und Rindfleisch mit 16 %. [90]

1 kg produziertes Fleisch entsprechen dabei [91] :

- Rindfleisch = 13.3 kg CO₂ eq
- Geflügel = 3.5 kg CO₂ eq
- Schwein = 3.3 kg CO₂ eq

Die mit dem Fleischkonsum verbunden täglichen CO₂-Emissionen berechnen sich somit wie folgt:

$$(0.61 \cdot 3.3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} + 0.23 \cdot 3.5 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} + 0.16 \cdot 13.3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}) \cdot 0.165 \text{ kg} = 0.82 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (31)$$

Für den durchschnittlichen Fleischkonsum einer Person ergibt sich somit eine Emission von 0.82 kg CO₂ eq pro Tag. Im Folgenden wird die CO₂-Einsparung für den Verzicht von einer fleischhaltigen Mahlzeit pro Arbeitswoche bestimmt. Dies entspricht auf das Jahr gerechnet einem Verzicht von 43 fleischhaltigen Mahlzeiten. Aus der Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V ist bekannt, dass 2 von 32 Personen kein Fleisch konsumieren. Wird das Ergebnis auf das gesamte Dezernat V hochgerechnet, ergibt sich die Annahme, dass sieben Mitarbeitende kein Fleisch konsumieren. Für die folgende Rechnung wird somit angenommen, dass 103 Mitarbeitende des Dezernats V eine fleischhaltige Mahlzeit pro Woche weniger zu sich nehmen. Die Berechnung des Einsparungspotentials kann wie folgt durchgeführt werden:

$$0.82 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{Mahlzeit} \cdot \text{Person}} \cdot 103 \text{ Personen} \cdot 43 \text{ Mahlzeiten} = 3,631.78 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (32)$$

Der Verzicht auf eine fleischhaltige Mahlzeit pro Tag entspricht somit einer Gesamtersparnis von 3,631.78 kg CO₂ eq pro Jahr. Da diese allerdings durch eine pflanzliche Alternative ersetzt werden muss, müssen die Emissionen, welche durch diese Mahlzeit anfallen noch berücksichtigt werden. Die Produktion einer veganen Mahlzeit verringert im Vergleich zu Fleisch die Emissionen um durchschnittlich 37 % [92]. Somit verringert sich die Gesamtersparnis auf 2,288.02 kg CO₂ eq pro Jahr. Eine solche Veränderung kann jedoch nicht allein durch die Mitarbeitenden erfolgen. Hierfür sollte beispielsweise das Angebot an vollwertigen, variierten vegetarischen/veganen Speisen in der Mensa erhöht werden.

5 Analyse der Hauptemissionsfaktoren

Im Folgenden werden die Hauptemissionsfaktoren ermittelt, welche für 90 % der Gesamtemissionen verantwortlich sind. Diese dienen als KPIs und sollen als Werkzeug genutzt werden, um eine aussagekräftige CO₂-Bilanz mit möglichst geringem Aufwand erstellen zu können.

5.1 Methodik der Pareto Verteilung

Die Pareto Verteilung beschreibt ein statistisches Phänomen, welches besagt, dass eine kleine Menge großer Werte mehr zur Gesamtheit beiträgt als eine große Menge von kleinen Werten. Diese Verteilung geht aus einer Untersuchung von Pareto hervor. Er fand heraus, dass ca. 20 % der Familien in Italien ca. 80 % des Vermögens besitzen. Daher wird dieses Phänomen auch 80-20-Verteilung genannt. Diese Verteilung lässt sich jedoch auf eine Vielzahl weiterer Probleme anwenden. [93]

Abbildung 32 zeigt das Pareto Prinzip in einer allgemeineren Form. Die Abbildung besagt, dass 80 % eines Effekts über 20 % der Ursache erzeugt wird. Das Pareto Prinzip kann angewandt werden, wenn sich die auszuwertenden Daten in Kategorien einordnen lassen und wenn den Daten Zahlenwerte zugeordnet werden können. [94]

Pareto Prinzip (80 20 Regel)

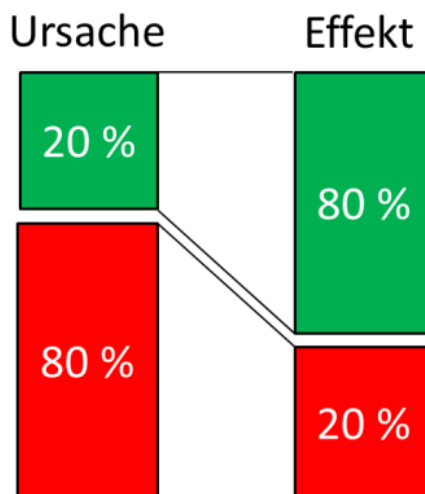


Abbildung 32 - Pareto Prinzip [94]

Das Pareto Diagramm ist somit ein sinnvolles Werkzeug, um die einflussreichsten Emissionsfaktoren zu ermitteln. Die dort ermittelten Emissionsfaktoren können als KPIs angesehen werden und dienen als Werkzeug für eine möglichst schnelle und dennoch aussagekräftige CO₂-Bilanzierung.

5.2 Ermittlung der Hauptemissionsfaktoren

Im Zuge dieser Arbeit wird die gängige 80-20-Verteilung auf eine 90-10-Verteilung verändert. Als KPIs werden somit die anteilmäßig größten Emissionsfaktoren angesehen, welche in Summe 90 % der Gesamtemissionen erzeugen. Um eine größere Aussagekraft zu erreichen, werden zudem nicht nur die Daten über das Dezernat V berücksichtigt, sondern auch die bereits im Vorfeld durchgeführten Untersuchungen an der TU Darmstadt und anderen Universitäten. Die blauen Balken in den Diagrammen geben dabei die CO₂-Emissionen der einzelnen Emissionsfaktoren an und die rote Linie den aufsummierten Anteil an den Gesamtemissionen. In Abbildung 33 ist die CO₂-Bilanz des FST der TU Darmstadt dargestellt, welche im Jahr 2019 durchgeführt wurde. In dieser Bilanzierung werden 90 % der Gesamtemissionen durch den Flugverkehr sowie den Strom- und Wärmeverbrauch erzeugt. Der Flugverkehr resultiert aus den getätigten Dienstreisen, weshalb diese als Überkategorie im Folgenden verwendet wird. Diese Kategorie wäre zusammengefasst in diesem Diagramm sogar noch etwas größer, da sie auch noch die Hotelübernachtungen beinhalten würde.

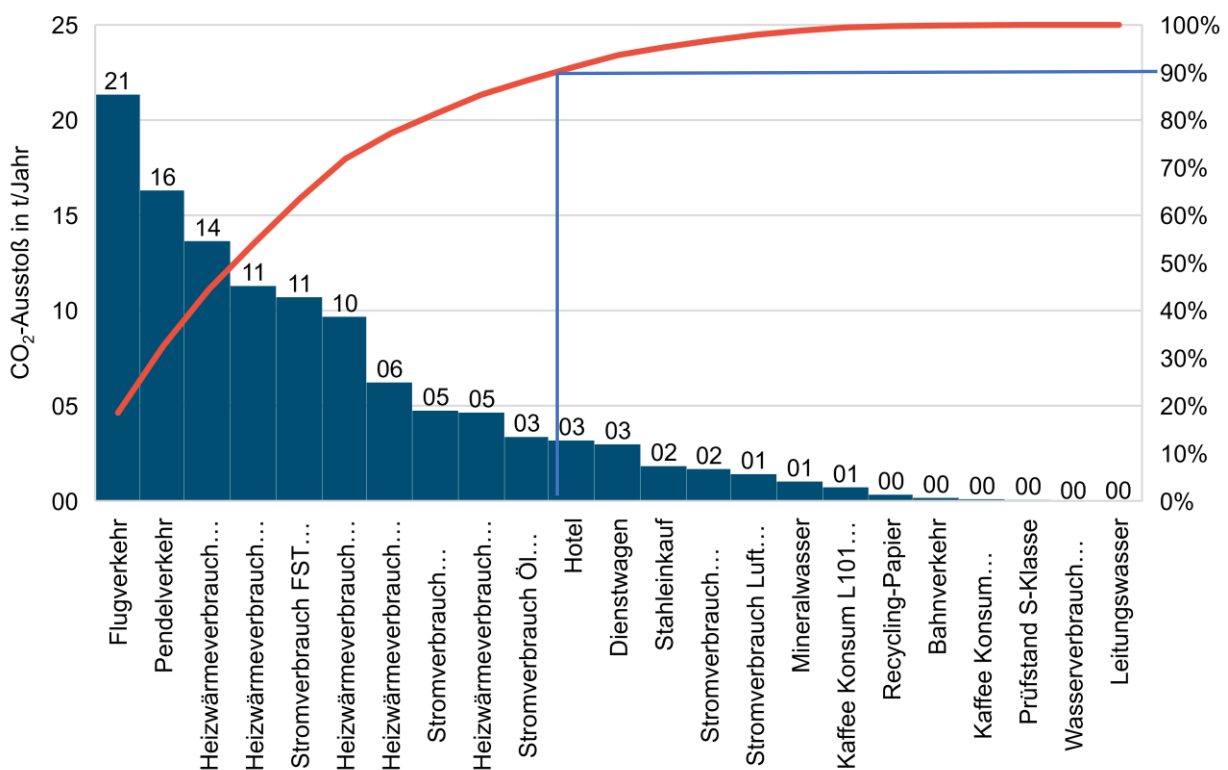


Abbildung 33 - CO₂-Bilanz des FST [68]

In Abbildung 34 ist die CO₂-Bilanz der BOKU Wien aus dem Jahr 2015 aufgeführt. Die treibenden Emissionsfaktoren sind hierbei der Stromverbrauch, die Dienstreisen, der Bezug von Fernwärme und Fernkälte, der Kältemittelverbrauch und das Pendeln.

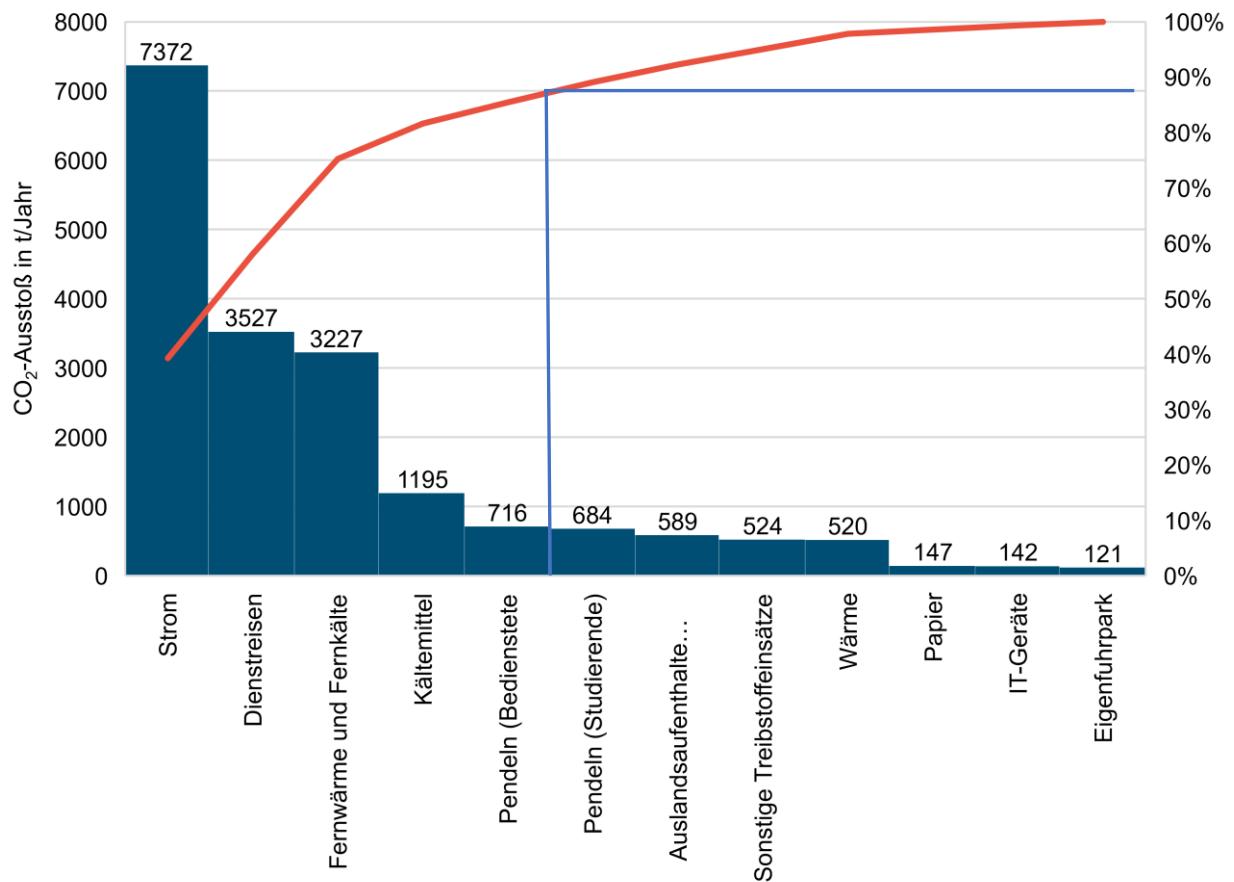


Abbildung 34 - CO₂-Bilanz der BOKU Wien [96]

In Abbildung 35 ist die CO₂-Bilanz der Alpen-Adria-Universität aus dem Jahr 2015 abgebildet. Die Hauptemissionsfaktoren sind hierbei das Pendeln, die Dienstreisen, der Stromverbrauch und die Auslandsaufenthalte. Der Emissionsfaktor der Fernwärme und Fernkälte ist in dieser Bilanz zwar nicht unter den Hauptemissionsfaktoren, macht aber mit 7 % der Gesamtemissionen ebenfalls einen nicht zu vernachlässigen Anteil der Gesamtbilanz aus.

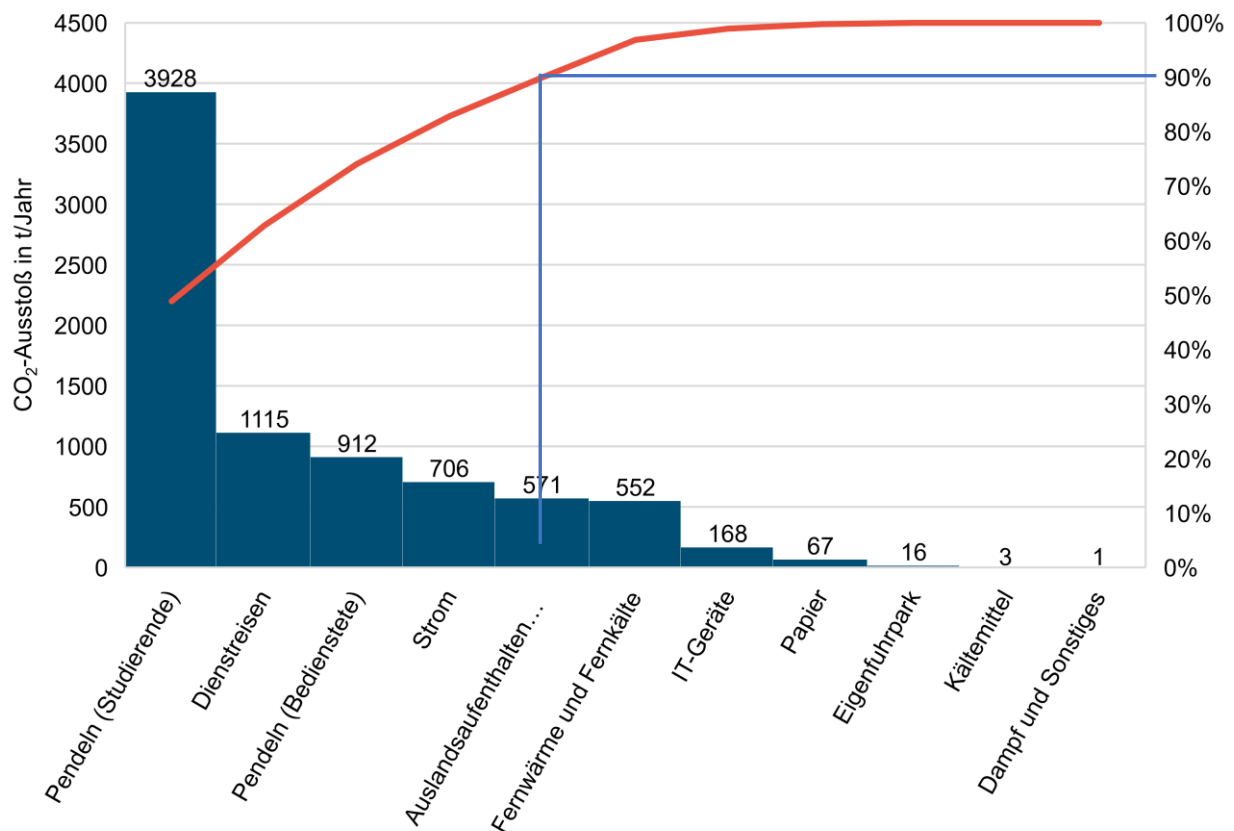


Abbildung 35 - CO₂-Bilanz der Alpen-Adria-Universität [97]

Zuletzt ist in Abbildung 36 die CO₂-Bilanz für das Dezernat V aufgeführt. Die Hauptemissionsfaktoren sind dort das Pendeln, sowie der Bezug von Fernwärme und Strom. Einen weiteren großen Einflussfaktor stellt zudem der Einkauf von IT-Geräten dar. Dieser wird bei den anderen CO₂-Bilanzen gar nicht aufgeführt, da es sich hierbei um einen Emissionsfaktor aus dem Scope 3 handelt. Der Emissionsfaktor der Dienstreisen ist am Dezernat V sehr klein. Dies hängt damit zusammen, dass nur wenige Dienstreisen pro Jahr und diese zudem hauptsächlich mit der Bahn getätigt werden.

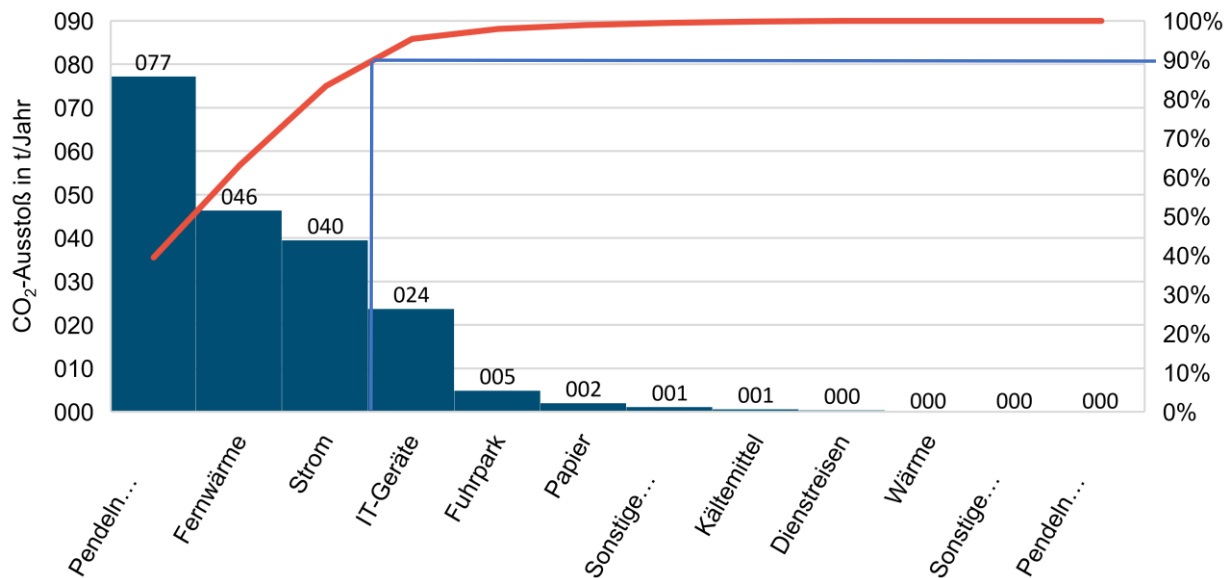


Abbildung 36 - CO₂-Bilanz des Dezernats V

Aus diesen vier Bilanzierungen lässt sich ein klarer Trend erkennen. Die größten Emissionsfaktoren sind in jedem Fall der Stromverbrauch, die Dienstreisen, das Pendeln von Studierenden und Angestellten und der Bezug von Fernwärme und -kälte. Diese Emissionsfaktoren unterscheiden sich zwar innerhalb der Bilanzierungen in ihrem Anteil stark voneinander, gehören jedoch in jedem Fall zu den größten vier Faktoren, mithilfe derer 90 % der Gesamtemissionen bestimmt werden können. Diese können daher als KPIs angesehen werden. Lediglich bei der BOKU Wien fällt mit den Kältemitteln ein zusätzlicher Emissionsfaktor in diesen Bereich. Bei der Alpen-Adria-Universität ist dieser Emissionsfaktor hingegen sehr klein. Nach den Angaben des Berichtes der CO₂-Bilanz der BOKU Wien, wird dieser hohe Wert ebenfalls kritisch hinterfragt und eine Überprüfung der Dichtheit der Kühlsysteme angestrebt [4]. Da bei einem intakten Kühlsystem die Leckage an Kühlmittel eher gering ausfallen sollte, wird dieser Emissionsfaktor nicht zu den KPI gezählt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und kritisch beurteilt. Damit einhergehend wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten gegeben.

Als größte Emissionsverursacher konnte der Pendelweg von Mitarbeitenden, die Strom- und Wärmeversorgung der Gebäude sowie der Einkauf von IT-Geräten identifiziert werden. Diese vier Punkte sind für etwa 90 % der Gesamtemissionen am Dezernat V verantwortlich. Für ein Konzept der Emissionsreduzierung sollte der Fokus auf Einsparungen in diesen Bereichen liegen. Zusammen mit den Analysen anderer Universitäten wurden KPIs ermittelt. Bei diesen handelt es sich um die Emissionskategorien Strom, Wärme, Dienstreisen und Pendelweg.

Grundsätzlich ist für die Erstellung einer CO₂-Bilanzierung ein strukturiertes Arbeiten erforderlich, bei dem sich zunächst ein Überblick über das gesamte Dezernat V verschafft wird. Dies gestaltete sich insbesondere während der Corona-Pandemie als schwierig. Umso wertvoller ist dabei die Unterstützung durch eine interne Person, welche wir durch eine Mitarbeiterin vom Büro für Nachhaltigkeit erfahren haben.

Elementarer Bestandteil beim Erstellen dieser Arbeit ist die Kommunikation mit den Mitarbeitenden, um an alle erforderlichen Daten zu gelangen. Da das Recherchieren und Weiterleiten dieser Informationen zusätzlichen Arbeitsaufwand für die Mitarbeitenden darstellt, musste auf ein höfliches Auftreten und eine klare Fragestellung Wert gelegt werden. Dabei hat sich die direkte Kommunikation mit den verantwortlichen Ansprechpersonen als zielführend erwiesen. Im Gegensatz dazu mussten wir feststellen, dass eine indirekte Kommunikation im Mailverkehr den Informationsfluss hindert. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt der kurzen Bearbeitungszeit des ARPs sind solche Verzögerungen problematisch.

Als anspruchsvollster Arbeitsschritt ist die Datenerhebung zu nennen. Insbesondere über Materialeinkäufe vom Dezernat V lagen bis zum Ende der Ausarbeitung keine Daten vor, sodass diese geschätzt werden mussten. Durch die Umfrage an die Mitarbeitenden konnte sich zwar ein Einblick in die Arbeitsweise verschafft werden, doch die Aussagekraft der Ergebnisse sind geschwächt, da nur etwa 40 % der Mitarbeitenden teilgenommen haben. Die Arbeitsweise der Werkstatt ist größtenteils unklar und stellt eine große Informationslücke dar. Bei zukünftigen Umfragen muss hier eine andere Herangehensweise gewählt werden.

Nichtsdestotrotz haben wir durch den Kontakt mit Mitarbeitenden sowie ihrer Vielzahl an Anregungen den Eindruck bekommen, dass Interesse am Thema CO₂-Einsparung am Dezernat V vorhanden ist. Allein durch diese erste Bilanzierung am Dezernat V wurden schon Veränderungen erreicht. Beispielsweise wird momentan die Digitalisierung der Verbrauchszähler der Gebäude verstärkt vorangetrieben.

Mit dieser Ausarbeitung wird der Grundstein für mögliche weitere Bilanzierungen am Dezernat V gelegt, an denen zwei Drittel der an der Umfrage teilgenommenen Mitarbeitenden interessiert wären. Darüber hinaus soll durch ein konsequent transparentes Vorgehen bei der Erstellung dieser Arbeit sowie der Verwendung eines umfassenden CO₂-Rechners der Weg für eine Bilanzierung der gesamten TU Darmstadt bereitet werden.

7 Literatur

- 1 IPCC-Koordinierungsstelle D. 1,5 °C Globale Erwärmung · Häufig gestellte Fragen und Antworten
- 2 Albat D. Grönlands Eis setzt Methan frei. Scinexx - Das Wissensmagazin 2019
- 3 Bundeszentrale für politische Bildung. Artensterben (05.01.2021). Im Internet: www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/anthropozoen/256780/artensterben
- 4 WWF Deutschland. Bedrohte Tierarten WWF (05.02.2021). Im Internet: www.wwf.de/themenprojekte/weitere-artenschutzthemen/rote-liste-gefaehrder-arten
- 5 Spiegel Online. Klimawandel Spiegel Online (05.01.2021). Im Internet: www.zeit.de/2019/08/klimawandel-meteorologie-leugner-prognosen-wetterforscher-klimakonferenz/komplettansicht
- 6 UNFCCC. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 11 December 2015. Part one: Proceedings
- 7 ec.europa. Übereinkommen von Paris (05.01.2021). Im Internet: ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de
- 8 Technische Universität Darmstadt. Büro für Nachhaltigkeit. Im Internet: www.tu-darmstadt.de/nachhaltigkeit/buero_fuer_nachhaltigkeit/index.de.jsp
- 9 TIB Blog. Die FAIR Data Prinzipien für Forschungsdaten. Im Internet: blogs.tib.eu/wp/tib/2017/09/12/die-fair-data-prinzipien-fuer-forschungsdaten/; Stand: 29.01.2021
- 10 Oleg Ködding-Zurmühlen. Klimawandel. Im Internet: www.dw.com/de/klimawandel-begann-schon-vor-180-jahren/a-19496872
- 11 Umweltbundesamt. Die Treibhausgase (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>)
- 12 Klima-Kollekte - Kirchlicher Kompensationsfonds gGmbH. Ursachen des Klimawandels. Im Internet: klima-kollekte.de/vermeiden-reduzieren/ursachen-des-klimawandels
- 13 Claus Leggewie. Bis hierhin wird das Wasser steigen. ZeitOnline 2019; (8/2019)
- 14 Institut Für Meteorologie Und Klimaforschung, Süddeutsches Klimabüro, Karlsruher Institut Für Technologie. Die Weltklimakonferenzen : Stand nach der 23. UN-Klimakonferenz, Bonn (2017) unter der Präsidentschaft der Republik Fidschi ; Kurzbericht des Süddeutschen Klimabüros ; November 2017. Karlsruhe; 2017
- 15 KJB KlimaJournalistenBüro UG. Dossier COP 15 Klimagipfel in Kopenhagen. Im Internet: www.klimaretter.info/klimakonferenz/klimakonferenz-kopenhagen; Stand: 28.01.2021
- 16 Werner Eckert. Was wird aus dem Pariser Klimaabkommen?: Offizieller Austritt der USA. Im Internet: www.tagesschau.de/ausland/usa-klimaabkommen-105.html; Stand: 28.01.2021
- 17 EU verschärft Klimaziel bis 2030. Im Internet: www.tagesschau.de/ausland/europa/eu-gipfel-klimaziel-101.html; Stand: 11.12.2020 11:16 Uhr
- 18 Mitteilung Europäische Kommission CO2-neutral 2050
- 19 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie (11/05/2020 16:30:54). Im Internet:

www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/#c11681; Stand: 11/05/2020 16:30:54

- 20 Bauer C. Vorlesung Energieversorgung und Umweltschutz: Teil 7; Wintersemester 2019/20
- 21 TU Darmstadt. Dezernat V – Baumanagement- und Technischer- Betrieb (28.12.2021). Im Internet: www.intern.tu-darmstadt.de/verwaltung/dez_v/willkommen_dez_v/index.de.jsp
- 23 TU Darmstadt. Strategische Mobilitätsentwicklung an der TU Darmstadt. Im Internet: www.intern.tu-darmstadt.de/verwaltung/dez_v/mobilitaetsmanagement_dezv/index.de.jsp; Stand: 28.12.2021
- 24 TU Darmstadt. EnEff:Stadt Campus Lichtwiese (28.12.2021). Im Internet: www.intern.tu-darmstadt.de/verwaltung/dez_v/vf_technischer_betrieb/energiemanagement/eneff_stadt_campus_lichtwiese/index.de.jsp
- 25 TU Darmstadt. Organigramm Dezernat V (28.12.2021). Im Internet: www.intern.tu-darmstadt.de/verwaltung/dez_v/willkommen_dez_v/organigramm/index.de.jsp
- 26 Hottenroth et al. Carbon Footprints für Produkte. Handbuch für die betriebliche Praxis kleiner und mittlerer Unternehmen
- 27 Bode S, Lüdeke F. CO₂-neutrales Unternehmen – was ist das? uwf; DOI: 10.1007/s00550-007-0046-z
- 28 Marc Issel. Standards und Methoden zur Erstellung einer Klimabilanz. Im Internet: www.planetly.org/standards-und-methoden-zur-erstellung-einer-klimabilanz/; Stand: 27.01.2021
- 29 TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH. Carbon Footprint von Unternehmen, Organisationen und Produkten 2014
- 30 Thorsten Arndt. GHG Protocol Revised, A Corporate Accounting and Reporting Standard
- 31 Stania M. Emissions Kategorien Scopes, EnergieAgentur.NRW Internet: http://www.ccf.nrw.de/navi/downloads/emissionsquellen/Emissions_Kategorien_Scopes.pdf; Stand: 31.01.2021
- 32 Ecocockpit CO₂-Rechner. Im Internet: ecocockpit.de/service/faq/; Stand: 29.01.2021
- 33 KlimAktiv CO₂-Rechner. Im Internet: www.klimaktiv.de/de/299/unternehmen.html; Stand: 29.01.2021
- 34 Umweltbundesamt CO₂ Rechner. Im Internet: uba.co2-rechner.de/de_DE/; Stand: 29.01.2021
- 35 CCalc CO₂ Rechner. Im Internet: www.ccalc.org.uk/about.php; Stand: 29.01.2021
- 36 ClimCalc 2.0 Treibhausgasbilanzierungstool. Im Internet: nachhaltigeuniversitaeten.at/arbeitsgruppen/co2-neutrale-universitaeten/; Stand: 29.01.2021
- 37 Giuliano Fuchs. Emissionsfaktoren. Im Internet: www.net4energy.com/wiki/emissionsfaktor
- 38 RP-Energie-Lexikon. CO₂-Äquivalente. Im Internet: www.energielexikon.info/co2_aequivalente.html
- 39 Parry ML. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge U.K., New York: Cambridge University Press; 2007
- 40 Im Internet: <http://nachhaltigeuniversitaeten.at/arbeitsgruppen/co2-neutrale-universitaeten/>; Stand: 31.01.2021

- 41 Im Internet: nachhaltigeuniversitaeten.at/wp-content/uploads/2017/05/Factsheet-Systemgrenzen.pdf; Stand: 31.01.2021
- 44 MatheGuru. Korrelation, Korrelationskoeffizient | MatheGuru (29.01.2021); Stand: 29.01.2021
- 45 Hanson J, Kuhn C, Stephan P et al. EnEff:Stadt Campus Lichtwiese: 23
- 46 AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6 - Entwurf: Energetische Bewertung von Fernwärme und Fernkälte, 2020
- 47 Fritsche UR, Rausch L. GEMIS Emissionsfaktoren für Treibhausgase und KWK-Zurechnung: Kurzpapier für die Landeshauptstadt München 2010: 10
- 48 STEAG GmbH. Mit neuer Effizienz (11/17/2020 20:18:01). Im Internet: www.steag.com/de/aktuelles/einblicke/mit-neuer-effizienz/; Stand: 11/17/2020 20:18:01
- 49 Person R-D, Wöhning C. CO₂-Bilanz 2018 der hessischen Hochschulen: Einsatz von Energie und Kennzahlen 2020: 65
- 52 enercity AG. Stromrechnung S3.20 [Rechnung]; (Rechnungsnummer 1200001575528), 2020
- 54 Kurzbeschreibung Solarhaus Solar Decathlon / Team Deutschland 2007
- 55 Wanja Hemmerich. Standardabweichung. Im Internet: matheguru.com/stochastik/standardabweichung.html; Stand: 29.01.2021
- 56 Statistisches Bundesamt. Krankheitstage. Im Internet: www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-2/krankenstand.html; Stand: 29.01.2021
- 57 schulferien.org. Arbeitstage Hessen 2019. Im Internet: www.schulferien.org/Arbeitstage/Arbeitstage_2019_Hessen.html; Stand: 29.01.2021
- 59 HYPAFOL GmbH. Unser Toilettenpapier in Zahlen. Im Internet: ps-hygiene.de/unser-blog/unser-toilettenpapier-in-zahlen; Stand: 29.01.2021
- 60 www.hamburgpapier-shop.de. Hygienepapier. Im Internet: www.hamburgpapier-shop.de/epages/hamburgpapier.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/hamburgpapier/Categories/Papierhandt%C3%BCcher/%22Papierhandt%C3%BCcher%20ZZ%20Falz%22/%22Papierhandt%C3%BCcher%20%201%20lagig%20gr%C3%BCn%22; Stand: 29.01.2021
- 61 Druck- und Kopierzentrum Tiedeke GmbH. Papiergewicht berechnen. Im Internet: tiedeke.de/papiergewicht-berechnen/#:~:text=Hierbei%20kommt%20ein%20Gewicht%20von,Blatt%20DIN%20A4%20Papier%20heraus; Stand: 29.01.2021
- 62 So lange hält Ihre Hardware. Im Internet: [www.siecom.de/so-lange-haelt-ihre-hardware/#:~:text=Deshalb%20empfiehlt%20er%20jedem%20kleinen,Hersteller%2C%20der en%20Abschluss%20er%20empfiehlt.](https://www.siecom.de/so-lange-haelt-ihre-hardware/#:~:text=Deshalb%20empfiehlt%20er%20jedem%20kleinen,Hersteller%2C%20der en%20Abschluss%20er%20empfiehlt.;); Stand: 28.01.2021
- 63 DIE LEBENSDAUER BEIM SMARTPHONE: NOKIA WAR FÜR IMMER – SAMSUNG IST FÜR DIE ZUKUNFT. Im Internet: [www.yourfone.de/magazin/lebensdauer-smartphone#:~:text=Smartphones%20haben%20eine%20durchschnittliche%20Lebensdauer%20von%202%20bis%203%20Jahren.](https://www.yourfone.de/magazin/lebensdauer-smartphone#:~:text=Smartphones%20haben%20eine%20durchschnittliche%20Lebensdauer%20von%202%20bis%203%20Jahren.;); Stand: 28.01.2021
- 64 Neues Notebook: So erhöhen Sie die Lebensdauer des Laptops. Im Internet: www.windows-faq.de/2019/08/06/neues-notebook-so-erhoehen-sie-die-lebensdauer-des-laptops/; Stand: 29.01.2021

- 65 Wie lange hält ein Beamer? Wie lange hält ein Beamer und dessen Innenleben bzw. Lampe? Im Internet: www.beamertests.net/faq/wie-lange-haelt-ein-beamer/; Stand: 28.01.2021
- 66 Tim Gerber UH. Canon verheimlicht Lebensdauer-Grenze ihrer Tintendrucker. Im Internet: www.heise.de/ct/artikel/Ausgezaehlt-287848.html; Stand: 28.01.2021
- 67 Kompatibel für Brother TN-910M Toner Magenta. Im Internet: www.fairtoner.de/oem/brother-tn-910m-toner/?gclid=EAIaIQobChMIoMfT3bzA7gIVDZntCh2j7ADhEAAAYASAAEgKt-fD_BwE; Stand: 29.01.2021
- 68 Chavez E, Aschkan Davoodi. Transformation zu einem CO₂-neutralen Insitut - Konzeptentwicklung und Umsetzung am Beispiel des Instituts für Fluidsystemtechnik: Abschlussbericht zum Interdisziplinären Energieprojekt (IEP). Darmstadt; 2019
- 70 C. Felsmann. LowEx-Fernwärme Multilevel District Heating. Dresden: TUDpress Verlag der Wissenschaften GmbH; 2011
- 71 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Erneuerbare Energien. Im Internet: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html; Stand: 11.01.2021
- 72 Umwelt Bundesamt. Erneuerbare-Energien-Gesetz. Im Internet: www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz#erfolg; Stand: 11.01.2021
- 73 Umwelt Bundesamt. Ökostrom. 06.10.2020. Im Internet: www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektrogeraete/oekostrom#gewusst-wie; Stand: 11.01.2021
- 74 Verivox. Verivox Industriestrom Preisvergleich_ Online-Rechner 2021
- 75 Solaranlagen-portal. Die Leistung von Photovoltaikanlagen. Im Internet: www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/leistung#:~:text=1000%20Kilowattstunden%20eingestrahlte%20Sonnenenergie%2C%20die,Jahr%20etwa%204000%20kWh%20Strom; Stand: 11.01.2021
- 76 eon. Wie hoch ist der durchschnittliche PV-Ertrag einer Solaranlage? Im Internet: www.eon.de/frag-eon/themen/solar/fragen-und-antworten/wie-viel-strom-erzeugt-eine-photovoltaikanlage-in-deutschland-durchschnittlich/; Stand: 11.01.2021
- 77 DeinFachmann. Photovoltaikanlage und die Dachneigung. Im Internet: www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/voraussetzungen/dachneigung; Stand: 20.01.2021
- 78 Matthias Diehl. Solare Dachsanierung. Im Internet: photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/solare-dachsanierung/; Stand: 20.01.2021
- 79 EnEff Campus:blueMAP TU Braunschweig. pv_gesamtbericht
- 80 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Durchschnittlicher Strompreis für einen Haushalt. Im Internet: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/durchschnittlicher-strompreis-fuer-einen-haushalt.html; Stand: 11.01.2021
- 81 Neuffer Fenster + Türen GmbH. DIN EN ISO 10077 – Wärmetechnisches Verhalten (11.01.2021). Im Internet: www.fensterversand.com/info/normen/din-en-iso-10077-waermetechnisches-verhalten.php
- 82 Niedrig-Energie-Institut. Glasaustausch oder Einbau neuer Fenster (11.01.2021). Im Internet: nei-dt.de/fachinformationen/altbau-sanierung/fenster/
- 83 Verbraucherzentrale Südtirol. Fenster verursachen Wärmeverluste (11.01.2021). Im Internet: www.consumer.bz.it/de/fenster-verursachen-waermeverluste

- 84 AM Online Projects. Klima Darmstadt (11.01.2021). Im Internet: de.climate-data.org/europa/deutschland/hessen/darmstadt-2129/
- 85 A. Poleshova. Prognose zur Anzahl der täglich versendeten und empfangenen E-Mails weltweit von 2020 bis 2024. Im Internet: [de.statista.com/statistik/daten/studie/252278/umfrage/prognose-zur-zahl-der-taeglich-versendeter-e-mails-weltweit/#:~:text=Diese%20Zahl%20der%20privat%20und,Milliarden%20Mails%20pro%20Tag%20belaufen.&text=In%20Deutschland%20wurde%20das%20Internet,Empfangen%20von%20E%2DMails%20genutzt.](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252278/umfrage/prognose-zur-zahl-der-taeglich-versendeter-e-mails-weltweit/#:~:text=Diese%20Zahl%20der%20privat%20und,Milliarden%20Mails%20pro%20Tag%20belaufen.&text=In%20Deutschland%20wurde%20das%20Internet,Empfangen%20von%20E%2DMails%20genutzt.;); Stand: 28.01.2021
- 86 Emma Charlotte Richards. The Carbon Cost of an Email - The Carbon Literacy Project. Im Internet: carbonliteracy.com/the-carbon-cost-of-an-email/; Stand: 28.01.2021
- 87 A. Poleshova. Anzahl empfangener dienstlicher E-Mails pro Tag im Durchschnitt in Deutschland in ausgewählten Jahren von 2011 bis 2018. Im Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/328293/umfrage/anzahl-der-empfangenen-dienstlichen-e-mails-pro-tag-in-deutschland/; Stand: 28.01.2021
- 88 A. Poleshova. Entwicklung des Anteils an Spam-Mails in Unternehmen weltweit von Januar 2018 bis Dezember 2019. Im Internet: de.statista.com/statistik/daten/studie/446308/umfrage/spam-anteil-weltweit-in-unternehmen/; Stand: 28.01.2021
- 89 Fleisch-Was kostet das Stück Lebenskraft? Im Internet: www.greenpeace.de/themen/landwirtschaft/fleischeslust-was-das-stueck-lebenskraft-tatsaechlich-kostet; Stand: 28.01.2021
- 90 Sandra Ahrens. Fleischverbrauch in Deutschland pro Kopf in den Jahren 1991 bis 2019. Im Internet: [de.statista.com/statistik/daten/studie/36573/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-fleisch-in-deutschland-seit-2000/#:~:text=Im%20Jahr%202019%20summierte%20sich,auf%20etwa%2087%2C8%20Kilogramm.](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36573/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-fleisch-in-deutschland-seit-2000/#:~:text=Im%20Jahr%202019%20summierte%20sich,auf%20etwa%2087%2C8%20Kilogramm.;); Stand: 28.01.2021
- 91 Matthias Janson. So klimaschädlich sind Rind, Geflügel und Schwein. Im Internet: de.statista.com/infografik/20578/treibhausgasemissionen-bei-der-konventionellen-fleischproduktion/; Stand: 28.01.2021
- 92 Baden-Württemberg N. GenussN! - Kochbüchle - Restlos nachhaltig genießen und CO2 sparen
- 93 viksc. Microsoft Word - Methodenblatt Pareto-Diagramm Internet: [ww.quality.de](https://www.quality.de) Stand: 31.01.2021
- 94 Roland Schnurr. Pareto Prinzip 80 20 Regel. Im Internet: www.sixsigmablackbelt.de/pareto-prinzip-80-20-regel/; Stand: 17.01.2021
- 96 Sybille Chiari, Dominik Schmitz. Treibhausgas-Bilanz: Universität für Bodenkultur, Wien
- 97 Meli. Treibhausgas-Bilanz 2015: Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

7.1 Persönliche Mitteilungen

- 22 Clara Brossmann. Mitarbeitendenanzahl am Dezernat V [E-Mail]. Darmstadt, 2020
- 42 Vanessa Janzen. Daten für die CO2 Bilanzierung, Dienstwagen [E-Mail]. Darmstadt, 2021
- 43 Mehlstäubl U. Heizkraftwerk Lichtwiese [Zoom-Videokonferenz], 2020

-
- 50 Mehlstäubl U. Nachfrage Stromverbrauch S3/07; Wärmeeinspeisung BHKW; CO2-Emissionsfaktor MHKW [Telefonat], 2021
 - 51 Mehlstäubl U. CO2-Bilanz Rückfrage Wärmeverbrauch [E-Mail], 2020
 - 53 Maercker E. Stromverbrauch S3/07 [Telefonat], 2021
 - 58 Clara Brossmann. Nachfrage - 2te Frage der Umfrage, Angaben zur Schätzung der Dienstreisen [E-Mail]. Darmstadt, 14.01.21, 17:03h
 - 69 Hanna Richter. Rückmeldung zur 2. CO2-Umfrage, Dezernat V [E-Mail]. Darmstadt, 2021, 12:15h

Anhang

A Berechnungen

A.1 Emissionsberechnung Strom

CO₂-Bilanz Dezernat V - Strom Bilanzierungsjahr: 2019 Bearbeiter: Marcel Müller Stand: 21.01.2021			
Emissionsfaktoren			
Stromherkunft	BHKW	Öko-Zukaufstrom	enercity-Zukaufstrom
CO ₂ -Emissionsfaktor [t CO ₂ /MWh]	0.370	0.039	0.081
Anteil an Stromversorgung von S3/20 [%]	0	0	100
Anteil an Stromversorgung von S3/07 [%]	80	20	0
Anteil an Stromversorgung von L3/02 [%]	80	20	0
Verbräuche			
Gebäude	S3/07	S3/20 Etage 3+4	L3/02
Stromverbrauch gesamt. Gebäude 2019 [MWh]	82.734	320.208	4.640
Betrachtete Etagen	1	2	1
Vorhandene Etagen	1	4	1
bereinigter Verbrauch [MWh]	82.734	160.104	4.640
Gebäudespezifische CO ₂ -Emissionen [t CO ₂]	25.136	12.968	1.410
CO₂-Emissionen Dezernat V durch Stromverbrauch [t CO₂]			
			39.514

A.2 Emissionsberechnung Wärme

CO₂-Bilanz Dezernat V - Wärme Bilanzierungsjahr: 2019 Bearbeiter: Marcel Müller Stand: 09.01.2021			
Emissionsfaktoren			
Erzeuger	BHKW	MHKW	Gaskessel
Menge [MWh]	3,7150.1	29,243.337	20,692.239
Gesamtmenge eingespeister Wärme [MWh]	87,085.676		
CO ₂ -Emissionsfaktor [t CO ₂ /MWh]	0.18	0.025	0.234
Anteil der Erzeugerwärmeenergie an Gesamtwärmeleistung [%]	42.7	33.6	23.8
Gesamtemissionsfaktor [t CO₂/MWh]	0.141		
Verbräuche			
Gebäude	S3/07	S3/20 Etage 3+4	
Zählerstand 18.12.2019 [MWh]	1,403.132	899.52	
Zählerstand 19.12.2018 [MWh]	1,194.252	71.,31	
Wärmeverbrauch gesamt. Gebäude 2019 [MWh]	208.88	188.21	
Betrachtete Etagen	1	2	
Vorhandene Etagen	1	4	
bereinigter Verbrauch	208.88	94.105	
Gesamter Wärmeverbrauch Dezenat V		302.985	
Verluste			
Rohrleitungsverluste [%]*	7.9		
Wärmebezug Dezernat V [MWh]	328.974		
*[45] Abbildung 5.49 auf Seite 102 Betrachte Pfad f als Verluste von 6.5 MWh bei 82.3 MWh erzeugter Wärmeleistung			
CO₂-Emissionen Wärmeverbrauch Dezernat V [t CO₂]		46.314	

B Verbrauchsdaten Wärme

Obj.Nr.	Bez.	19.12.2018	29.01.2019	28.02.2019	28.03.2019	28.04.2019	28.05.2019	28.06.2019	25.07.2019	28.08.2019	27.09.2019	28.10.2019	24.11.2019	18.12.2019
1307	Ernst-Neufert-Halle	1194,252	1269,576	1305,942	1324,197	1338,841	1347,386	1350,271	1352,358	1354,418	1356,978	1366,998	1394,356	1403,132
1320	Verwaltungsgebäude Rd. Turm Strasse 10	711,31	762,64	791,55	812,22	829,26	838,7	839,1	839,11	839,12	839,92	850,88	875,46	899,52

=> Zählerstand

C Korrelationsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,00	0,04	0,39	0,10	0,12	-0,08	0,26	0,33	0,00	0,17	0,06	0,01	0,20	0,06	0,15	x
2	0,04	1,00	0,16	0,10	0,50	-0,13	0,22	0,18	0,26	0,13	0,08	0,04	0,07	0,15	0,17	x
3	-	-	1,00	0,07	0,17	-0,04	0,38	0,42	0,08	0,14	0,04	0,01	0,06	0,19	0,17	x
4	-	-	0,07	1,00	0,27	-0,17	0,09	0,14	0,01	0,06	0,09	0,14	0,02	0,48	0,17	x
5	-	0,50	0,17	0,27	1,00	-0,05	0,23	0,08	0,08	0,09	0,03	0,18	0,12	0,33	0,09	x
6	-	-	-	-	-	1,00	####	####	0,02	0,12	0,02	0,03	0,17	0,06	0,26	x
7	0,26	0,22	0,38	0,09	0,23	#####	1,00	0,53	0,22	0,20	0,54	0,27	0,15	0,24	0,11	x
8	0,33	0,18	0,42	0,14	0,08	#####	0,53	1,00	0,13	0,15	0,13	0,24	0,32	0,01	0,07	x
9	0,00	0,26	0,08	0,01	0,08	-0,02	0,22	0,13	1,00	0,25	0,22	0,26	0,12	0,01	0,01	x
10	0,17	0,13	0,14	0,06	0,09	0,12	0,20	0,15	0,25	1,00	0,09	0,24	0,07	0,03	0,24	x
11	0,06	0,08	0,04	0,09	0,03	0,02	0,54	0,13	0,22	0,09	1,00	0,27	0,01	0,07	0,20	x
12	0,01	0,04	0,01	0,14	0,18	-0,03	0,27	0,24	0,26	0,24	0,27	1,00	0,11	0,18	0,04	x
13	-	0,07	0,06	0,02	0,12	0,17	0,15	0,32	0,12	0,07	0,01	0,11	1,00	0,08	0,30	x
14	0,06	0,15	0,19	0,48	0,33	0,06	0,24	0,01	0,01	0,03	0,07	0,18	0,08	1,00	0,02	x
15	0,15	0,17	0,17	0,17	0,09	-0,26	0,11	0,07	0,01	0,24	0,20	0,04	0,30	0,02	1,00	x
16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17	0,42	0,26	0,22	0,28	0,03	0,00	0,22	0,20	0,08	0,13	0,04	0,08	0,08	0,07	####	x
18	0,50	0,05	0,39	0,26	0,10	0,04	0,39	0,35	0,02	0,24	0,06	0,12	0,38	0,07	####	x
19	0,34	0,02	0,01	0,19	0,08	0,11	0,01	0,07	0,06	0,16	0,13	0,08	0,26	0,05	####	x
20	0,26	0,12	0,37	0,06	0,06	-0,18	0,43	0,13	0,21	0,22	0,07	0,14	0,14	0,05	####	x
21	0,26	0,46	0,27	0,24	0,47	-0,05	0,22	0,02	0,30	0,00	0,15	0,44	0,23	0,08	0,67	x
22	0,10	0,25	0,16	0,14	0,21	0,10	0,11	0,15	0,28	0,10	0,16	0,03	0,10	0,00	0,19	x
23	0,51	0,03	0,19	0,08	0,17	-0,05	0,40	0,69	0,33	0,05	####	0,38	0,03	0,02	0,43	x
24	0,35	0,09	0,18	0,06	0,34	-0,13	0,51	0,66	0,17	0,34	####	0,66	0,04	0,03	0,19	x
25	0,13	0,07	0,02	0,06	0,07	0,42	0,59	0,22	0,01	0,05	0,19	0,17	0,15	0,11	0,01	x

26	-	-	0,33	0,11	0,33	0,26	0,25	0,05	0,13	0,10	0,14	0,15	0,10	0,08	0,21	x
27	0,47	0,31	####	0,05	0,47	0,21	0,43	0,44	0,30	0,43	0,14	0,21	0,21	0,16	0,40	x
28	0,14	0,31	0,14	0,02	0,30	-0,06	0,59	0,45	0,07	0,04	0,45	0,12	0,01	0,05	0,16	x
29	0,12	0,27	0,02	0,04	0,39	0,17	0,53	0,31	0,08	0,05	0,49	0,28	0,01	0,04	0,22	x
30	0,14	0,36	0,00	0,16	0,39	0,08	0,52	0,39	0,03	0,15	0,48	0,27	0,01	0,11	0,28	x
31	0,30	0,37	0,25	0,02	0,07	-0,11	0,12	0,19	0,09	0,08	0,12	0,03	0,01	0,10	0,21	x
32	0,28	0,03	0,42	0,10	0,22	0,03	0,50	0,46	0,10	0,03	0,17	0,25	0,14	0,01	0,26	x
33	0,22	0,13	0,47	0,07	0,22	-0,04	0,31	0,46	0,06	0,01	0,10	0,19	0,27	0,14	0,13	x

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
-0,42	0,50	0,34	0,26	0,26	0,10	0,51	0,35	0,13	0,20	0,47	0,14	0,12	0,14	0,30	0,28	0,22
0,26	0,05	0,02	0,12	0,46	0,25	-0,03	0,09	0,07	0,43	0,31	0,31	0,27	0,36	0,37	0,03	0,13
0,22	0,39	0,01	0,37	0,27	0,16	-0,19	-0,18	0,02	0,33	###						
0,28	0,26	0,19	0,06	0,24	0,14	0,08	-0,06	0,06	0,11	0,05	0,02	0,04	0,16	0,02	0,10	0,07
-0,03	0,10	0,08	0,06	0,47	0,21	0,17	0,34	0,07	0,33	0,47	0,30	0,39	0,39	0,07	0,22	0,22
0,00	0,04	0,11	0,18	0,05	0,10	-0,05	-0,13	0,42	0,26	0,21	0,06	0,17	0,08	0,11	0,03	0,04
-0,22	0,39	0,01	0,43	0,22	0,11	0,40	0,51	0,59	0,25	0,43	0,59	0,53	0,52	0,12	0,50	0,31
-0,20	0,35	0,07	0,13	0,02	0,15	0,69	0,66	0,22	0,05	0,44	0,45	0,31	0,39	0,19	0,46	0,46
0,08	0,02	0,06	0,21	0,30	0,28	0,33	0,17	0,01	0,13	0,30	0,07	0,08	0,03	0,09	0,10	0,06
-0,13	0,24	0,16	0,22	0,00	0,10	0,05	0,34	0,05	0,10	0,43	0,04	0,05	0,15	0,08	0,03	0,01
-0,04	0,06	0,13	0,07	0,15	0,16	####	####									
-0,08	0,12	0,08	0,14	0,44	0,03	0,38	0,66	0,17	0,15	0,21	0,12	0,28	0,27	0,03	0,25	0,19
-0,08	0,38	0,26	0,14	0,23	0,10	-0,03	0,04	0,15	0,10	0,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,14	0,27
0,07	0,07	0,05	0,05	0,08	0,00	0,02	-0,03	0,11	0,08	0,16	0,05	0,04	0,11	0,10	0,01	0,14
####	###	###	###	-												
#	#	#	#	0,67	0,19	-0,43	-0,19	0,01	0,21	0,40	0,16	0,22	0,28	0,21	0,26	0,13
x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1,00	0,27	0,06	0,21	0,35	0,19	####	####			###						
						#	#	0,27	0,11	#	0,41	0,31	0,31	0,70	0,11	0,03

-0,27	1,00	0,14	0,23	0,51	0,12	0,22	0,30	0,03	0,17	0,00	0,04	0,18	0,02	0,21	0,45	0,36
-0,06	0,14	1,00	0,30	0,09	0,06	0,38	0,30	0,06	0,06	0,42	0,02	0,07	0,07	0,21	0,07	0,23
0,21	0,23	0,30	1,00	0,97	0,10	0,05	-0,25	0,04	0,14	0,35	0,15	0,08	0,01	0,03	0,29	0,34
0,35	0,51	0,09	0,97	1,00	0,05	0,90	####	0,03	0,01	0,59	0,06	0,28	0,09	0,22	0,42	0,07
0,19	0,12	0,06	0,10	0,05	1,00	####	####	0,29	0,27	0,31	0,17	0,03	0,16	0,02	0,09	0,04
####	#	0,22	0,38	0,05	0,90	###	1,00	0,67	0,22	0,19	0,00	0,11	0,33	0,19	0,31	0,08
####	#	0,30	0,30	0,25	#	###	0,67	1,00	0,25	0,08	0,22	0,13	0,28	0,29	0,31	0,26
0,27	0,03	0,06	0,04	0,03	0,29	-0,22	-0,25	1,00	0,11	0,43	0,01	0,23	0,08	0,12	0,12	0,13
0,11	0,17	0,06	0,14	0,01	0,27	0,19	-0,08	0,11	1,00	0,99	0,01	0,16	0,14	0,13	0,24	0,17
####	#	0,00	0,42	0,35	0,59	0,31	0,00	0,22	0,43	0,99	1,00	0,21	0,15	0,11	0,00	0,12
-0,41	0,04	0,02	0,15	0,06	0,17	-0,11	-0,13	0,01	0,01	0,21	1,00	0,82	0,80	0,26	0,32	0,34
-0,31	0,18	0,07	0,08	0,28	0,03	-0,33	-0,28	0,23	0,16	0,15	0,82	1,00	0,88	0,15	0,26	0,20
-0,31	0,02	0,07	0,01	0,09	0,16	-0,19	-0,29	0,08	0,14	0,11	0,80	0,88	1,00	0,25	0,29	0,30
-0,70	0,21	0,21	0,03	0,22	0,02	-0,31	-0,31	0,12	0,13	0,00	0,26	0,15	0,25	1,00	0,12	0,03
-0,11	0,45	0,07	0,29	0,42	0,09	0,08	0,26	0,12	0,24	0,12	0,32	0,26	0,29	0,12	1,00	0,32
-0,03	0,36	0,23	0,34	0,07	0,04	-0,25	-0,43	0,13	0,17	0,21	0,34	0,20	0,30	0,03	0,32	1,00

D Umfrage Arbeitsweise des Dezernats V

Sehr geehrte Teilnehmer*Innen,

in dieser Umfrage werden die CO₂-Emissionen, die im Zusammenhang mit der Arbeit der Mitarbeitenden des Dezernats V entstehen, erfragt. Die gesamte Umfrage bezieht sich auf das Jahr 2019, in dem Präsenzarbeit die Regel war. Der Fragebogen besteht aus zwei Teilen: einem Hauptteil und einem optionalen Teil. Der erste Block unterteilt sich in:

- 1 Pendelweg und Wege während der Arbeitszeit
- 2 Arbeitsweise
- 3 Dienstreisen
- 4 Allgemeines Interesse zu der Thematik „CO₂-Einsparung und Nachhaltigkeit“

1. Pendelweg und Wege / Strecken während der Arbeitszeit:

1: In welcher Altersgruppe befinden Sie sich?

A: 1. Unter 20 Jahre 2. Zwischen 21 und 30 Jahre 3. Zwischen 31 und 40 Jahre 4. Zwischen 41 und 50 Jahre 5. Zwischen 51 und 60 Jahre 6. Über 60 Jahre

2: Wie viele Kilometer beträgt ihr Weg zu Ihrem Arbeitsplatz? Zur Berechnung können Sie z.B. Google Maps ([Google Maps](#)) verwenden.

A: Textfeld

3: Womit legen Sie in der Regel Ihren Arbeitsweg zurück?

A: 1. Zu Fuß 2. motorisiertes Zweirad 3. Fahrrad 4. E-Bike 5. Auto 6. S-Bahn 7. Bus 8. Zug 9. Mix aus mehreren öffentlichen Verkehrsmitteln

4: Was ist Ihr Beschäftigungsmodell?

A: 1. Vollzeit 2. Teilzeit 3. Minijob 4. HiWi-Tätigkeiten 5. Andere

5: Hatten Sie die Möglichkeit (im Jahr 2019) mobil zu arbeiten?

A: 1. Ja 2. Nein

5FF: Falls Ja, wie viele Tage in der Woche haben Sie mobil gearbeitet?

A: Textfeld

6: Nutzen Sie innerhalb Ihrer Tätigkeit Dienstfahrzeuge?

A: 1. Ja 2. Nein

6FF: Falls Ja, welche Strecken legen Sie während der Arbeitszeit mit Dienstfahrzeugen in einer Woche zurück?

A: 1. Zwischen 0-10 km 2. Zwischen 10-25 km 3. Zwischen 25-50 km 4. Mehr als 50

6FF: Wenn Sie Dienstfahrzeuge nutzen, welche kommen am häufigsten zum Einsatz?

A: 1. PKW mit Verbrennungsmotor, 2. PKW mit Elektromotor, 3. Transporter mit Verbrennungsmotor, 4. Transporter mit Elektromotor, 5. Lastenrad, 6. Fahrrad

2. Arbeitsweise:

7: Schalten Sie beim Verlassen Ihres Büros (länger als 10-15 Minuten) Ihren PC aus oder lassen Sie ihn im Stand-by-Modus?

A: 1. Ich schalte ihn aus. 2. Ich lasse ihn im Stand-by-Modus 3. Ich lasse ihn an

8: Schalten Sie beim Verlassen Ihres Büros (länger als 5 Minuten) Ihren Bildschirm aus?

A: 1. Ja 2. Nein

9: Schalten Sie am Ende Ihres Arbeitstages Ihren PC aus oder lassen Sie ihn bis zum nächsten Tag im Stand-by-Modus?

A: 1. Ich schalte ihn aus. 2. Ich lasse ihn im Stand-by-Modus

10: Schalten Sie am Ende Ihres Arbeitstages den Bildschirm Ihres PCs aus?

A: 1. Ja 2. Nein

11: Schalten Sie das Licht in Ihrem Büro aus, wenn Sie den Raum verlassen?

A: 1. Ja 2. Nein

12: Wie viele Werbemails bzw. Newsletter-Mails erhalten Sie in einer Woche?

A: 1. Weniger als 10 Stück 2. Zwischen 10 und 20 Stück 3. Mehr als 20 Stück

13: Trennen Sie während Ihrer Arbeitszeit Ihren Müll?

A: 1. Ja 2. Nein

13FF: Falls ja, welche Mülleimer nutzen Sie in Ihrem Büro? (Mehrere Antworten wählbar)

A: 1. Sondermüll 2. Altpapier 3. Gelber Sack 4. Biomüll 5. Restmüll

14: Nutzen Sie Recyclingpapier?

A: 1. Ja 2. Nein

15: Wie viele Blätter Papier (zum Drucken, Notizzettel, Dokumente) verbrauchen Sie durchschnittlich in einer Woche?

A: 1. Zwischen 0-20 Blätter 2. Zwischen 20 und 50 Blätter 3. Mehr als 50 Blätter

16: Drehen Sie am Ende Ihres Arbeitstages Ihre Büroheizung herunter?

A: 1. Ja 2. Nein

17: Wie viele Tage im Jahr nutzen Sie eine elektrische Heizung?

A: 1. Nie 2. Bis eine Arbeitswoche (5 Tage) 3. Zwischen 1 bis 2 Arbeitswochen 3. Zwischen 2 und 4 Arbeitswochen 4. Öfters

17FF: Wie viele Stunden nutzen Sie die elektrische Heizung pro Tag?

A: 1. 1-3 h pro Tag 2. 4-6 h pro Tag 3. 7-9 h pro Tag

18: Verwenden Sie einen Ventilator in den Sommermonaten?

A: 1. ja 2. nein

18FF: Falls ja, wie viele Tage nutzen Sie den Ventilator?

A: 1. Bis zu einer Arbeitswoche (5 Tage) 2. Zwischen 1 bis 2 Arbeitswochen 3. Zwischen 2 und 4 Arbeitswochen 4. Öfters

18FF: Wenn Sie einen benutzen, wie viele Stunden am Tag nutzen Sie diesen Ventilator?

A: 1. 1-3 h pro Tag 2. 4-6h pro Tag 3. 7-9h pro Tag

3. Dienstreisen:

19: Haben Sie im Jahr 2019 eine Dienstreise getätigt?

A: 1. Ja 2. Nein

19FF: Falls Ja, wäre ein digitales Treffen eine gleichwertige Alternative zu Ihren Dienstreisen?

A: 1. Ja 2. Nein

4. Allgemeines Interesse zu der Thematik CO₂-Einsparung und Nachhaltigkeit

20: Wie sehr interessieren Sie sich für die Thematik „CO₂-Einsparung“?

A: 1. Gar nicht 2. Wenig 3. Mittelmäßig 4. Stark 5. Sehr Stark

21: In wieweit wären Sie bereit Ihren Arbeitsalltag zu verändern, um CO₂-Emissionen zu verringern?

A: 1. Gar nicht 2. Wenig 3. Mittelmäßig 4. Stark 5. Sehr Stark

22: In wieweit wären Sie bereit Ihren persönlichen Alltag zu verändern, um CO₂-Emissionen zu verringern?

A: 1. Gar nicht 2. Wenig 3. Mittelmäßig 4. Stark 5. Sehr Stark

Der zweite Teil der Umfrage ist auf **freiwilliger** Basis. Hierbei wollen wir ein paar persönliche Fragen, welche das Verhalten am Arbeitsplatz überschreiten, stellen. Dennoch ist es für uns eine große Hilfe, wenn Sie diesen Teil der Umfrage auch beantworten.

23: Woher beziehen Sie Ihr Mittagessen?

A: 1. Aus der Mensa 2. Zu Hause zubereitetes Essen 3. Imbiss außerhalb des Campus 4. Fertig gekauftes Essen

24: An wie vielen Tagen in der Woche konsumieren Sie Fleisch?

A: 1. Jeden Tag 2. 1 mal die Woche 3. 2-3 mal die Woche 4. 4-5 mal die Woche 5. seltener als einmal die Woche 6. Nie

25: Welche Art von Getränkeverpackungen nutzen Sie am häufigsten im Alltag?

A: 1. PET-Flaschen 2. Glasflaschen 3. Mehrweg-Plastikflaschen 4. Dosen 5. Leitungswasser

26: Haben Sie eigene Vorschläge wie in Ihrem Arbeitsalltag CO₂-Emissionen gesenkt werden können?

A: Textfeld

Falls das Thema Ihr Interesse geweckt hat oder Sie Interesse an einem persönlichen Gespräch mit uns haben, um mehr über Ihren Arbeitsalltag zu erzählen, können Sie sich bei uns unter einer der folgenden Mail Adressen melden:

Odile.difant@wanadoo.fr , Florian-koch@t-online.de , mpm.mueller@gmx.de , shkelqim.syla@stud.tu-darmstadt.de,
noravivian yazdandoost@gmail.com

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Umfrage! Bei weiterführendem Interesse am Thema „CO₂-Bilanz“ können Sie hier https://uba.co2-rechner.de/de_DE/ in einem Schnelltest Ihre eigene CO₂-Bilanz errechnen.

Odile Di Fant, Florian Koch, Marcel Müller, Shkëlqim Syla, Nora Yazdandoost.

E Umfrage Potenzielle Maßnahmen zur CO₂-Reduktion

1. Für statistische Zwecke: Haben Sie an unserer ersten Umfrage vor Weihnachten teilgenommen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein
2. Wären Sie bereit als Dienstfahrzeug häufiger ein Fahrrad zu nutzen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ich benutze keine Dienstfahrzeuge
 - b. Ja
 - c. Nein
3. Welche Voraussetzungen muss die Arbeitgeberin schaffen, damit Sie bereit wären den Pendelweg mit einem Fahrrad zurück zu legen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ich finde es gut wie es ist
 - b. Ich bin nicht am Radfahren interessiert
 - c. offenes Textfeld
4. Haben Sie Interesse an Jobrädern, welche von der Arbeitgeberin bezuschusst oder finanziert werden und auch zur privaten Nutzung zur Verfügung stehen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein
 - c. Offenes Textfeld
5. Durch die Corona-Pandemie und das damit einhergehende Arbeiten im Home-Office arbeiten viele Mitarbeitende bereits weitgehend papierlos. Wie finden Sie, unabhängig von der Corona-Pandemie, das papierlose Arbeiten im Büro als dauerhaftes Konzept?
Konzepterläuterung hier einsehbar: <https://www.fuer-gruender.de/wissen/unternehmen-gruenden/buero/bueroausstattung/papierloses-buero/> (Eine Auswahl möglich)
 - a. Sehr gut
 - b. Gut
 - c. Mittelmäßig
 - d. Schlecht
 - e. Sehr schlecht
6. Was müsste getan werden, damit dauerhaft ein papierloses Arbeiten im Büro gut umsetzbar ist? (Mehrfach Auswahl möglich)
 - a. Schulungen zu Microsoft Office
 - b. Schulungen zu Adobe (PDFs)
 - c. Schulung und Richtlinien zur Dokumentenablage
 - d. Ansprechperson für papierloses Büro definieren
 - e. Hardware (Geräte) und Software (Programme) zur Digitalisierung von Dokumenten (Briefe, Rechnungen, etc.) bereitstellen und entsprechende Schulungen durchführen
 - f. Offenes Textfeld
7. Wie häufig würden Sie gerne (unabhängig von der Corona-Pandemie) pro Arbeitswoche mobil arbeiten? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Jeden Tag
 - b. 3 bis 4 Tage
 - c. 1 bis 2 Tage
 - d. Ich möchte nicht mobil arbeiten

8. Würden Sie weniger eigene Getränke mitnehmen, wenn ein kostenloser Wasserspender (mit und ohne Kohlensäure) an Ihrem Arbeitsplatz zur Verfügung stehen würde? Beispiexemplar hier einsehbar: <https://www.waterlogic.de/wasserspender/produkte/wl7-firewall/>) (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein
9. Wären Sie bereit Ihren Fleischkonsum auf der Arbeit (z.B. in der Mensa) um 1-2 Mahlzeiten in der Woche zu reduzieren? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ich esse bereits weniger als einmal pro Woche Fleisch
 - b. Ja
 - c. Nein
10. Würden Sie an regelmäßige Schulungen oder Diskussionsrunden zur Thematik „CO₂-Einsparung“ teilnehmen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein
11. Wie würden Sie regelmäßig wechselnde Erinnerungen bewerten, welche anwendbare Tipps und Infos zur Nachhaltigkeit aufzeigen? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Sehr gut
 - b. Gut
 - c. Mittelmäßig
 - d. Schlecht
 - e. Sehr schlecht
12. Wünschen Sie sich eine Ansprechperson in Ihrem Dezernat, um eigene Ideen direkt an diese geben zu können? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein
 - c. Offenes Textfeld
13. Haben Sie konkrete Vorschläge wie an Ihrem Arbeitsplatz CO₂-Emissionen eingespart werden können? Hiermit ist beispielsweise der Austausch eines veralteten Elektrogerätes oder die Änderung von bestimmten Arbeitsabläufen gemeint. (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja, (offenes Textfeld)
 - b. Nein
14. Haben Sie Interesse, jedes Jahr die gesamte CO₂-Bilanz des Dezernats zu erhalten und somit Fortschritte quantifizieren zu können? (Eine Auswahl möglich)
 - a. Ja
 - b. Nein